









Tema 5: Microfiltración - Ultrafiltración

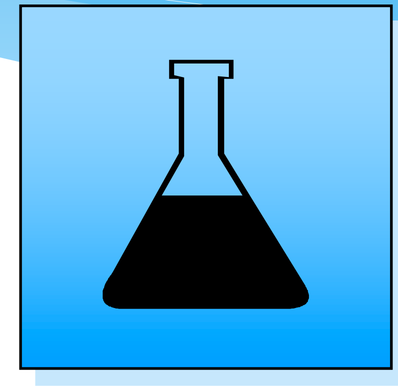
José Luis Pérez Talavera

Las Palmas 29 de Octubre al 13 de Noviembre de 2.021

Aplicaciones de la Filtración por Membranas

Desinfección de Agua Superficial





Procesos Industriales

Reuso Potable Indirecto de Efluentes Municipales

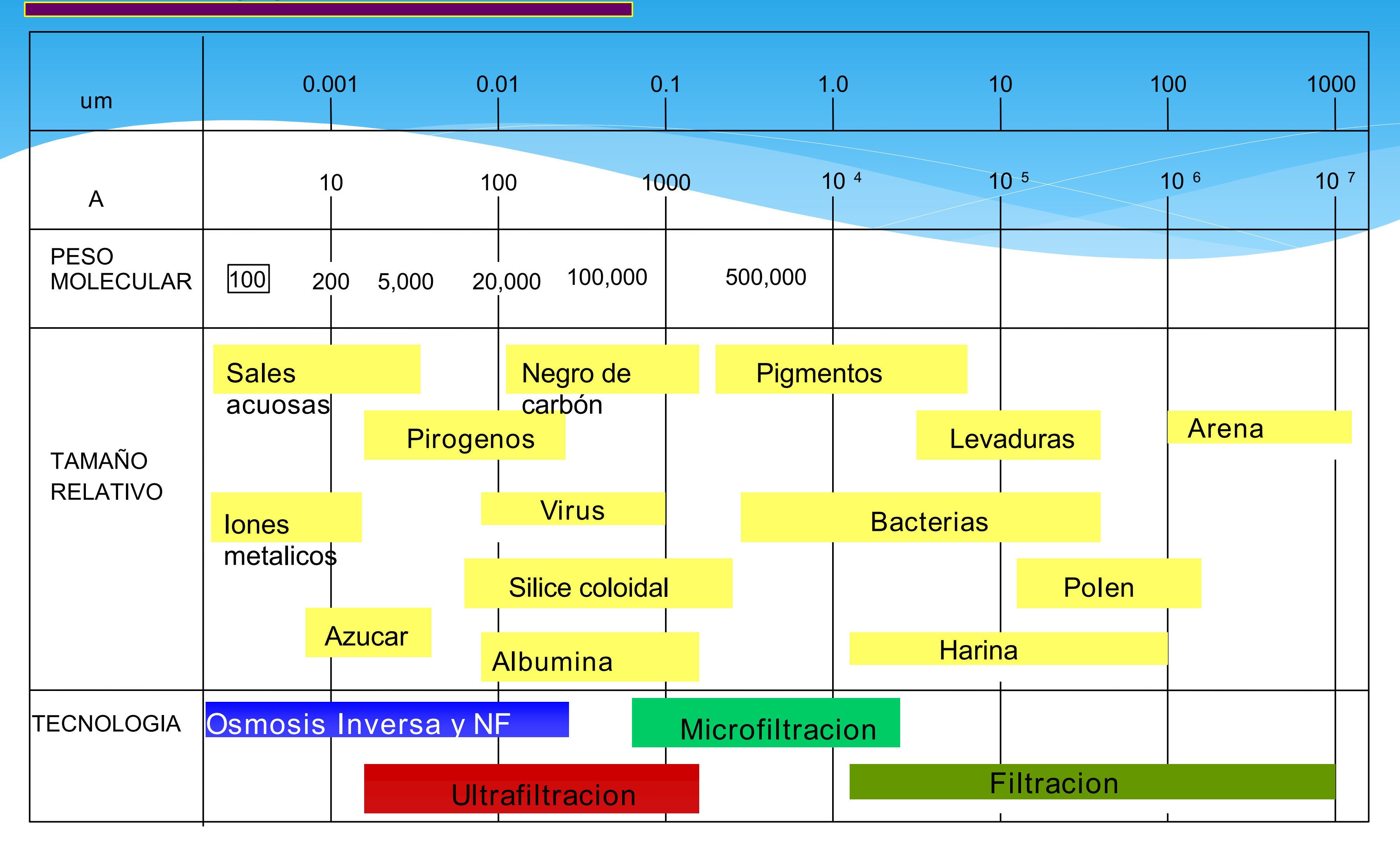




Pretratamiento de OI:
Agua de Mar
Agua Superficial
Aguas de Desecho

Regulacion ← → Economia

FILTRACIÓN

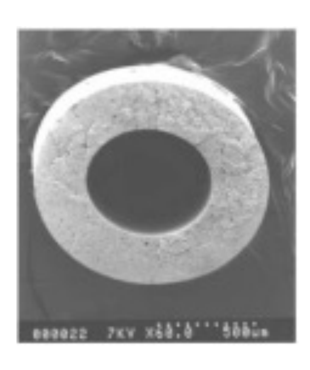


um
0.001
0.01
0.1
1.0
10
100
1000
A
10
100
1000
10 4
10 5
10 6
10 7
PESO MOLECULAR
100
200
5,000
20,000
100,000
500,000
TAMAÑO RELATIVO
Sales acuosas
Negro de carbón
Pigmentos
Pirogenos
Levaduras
Arena
Iones metalicos
Virus
Bacterias
Silice coloidal
Polen
Azucar
Albumina
Harina
TECNOLOGIA
Osmosis Inversa y NF
Microfiltracion
Ultrafiltracion
Filtracion

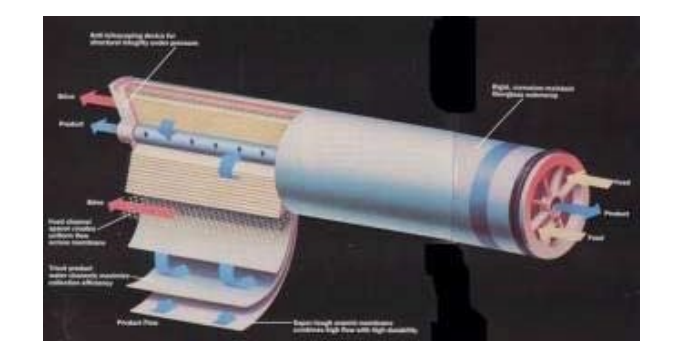
Características de las Membranas

- MF: 0,5 -5 bar
- UF: 0,7 - 6 bar
- NF: 5 - 10 bar
- RO: 10 - 60 bar

- 0.1 - 3 µ
- 0.01 - 0.1 µ
- 200 - 400 daltons
- 50 - 200 daltons







Microfiltración

* Microfiltración
  * tamaño nominal del poro >0.1 micras
  * remueve bacterias & protozoos, incluyendo *giardia* y *Cryptosporidium.*
  * *Remueve virus grandes*
  * reduce turbidez a < 0.1 NTU

Ultrafiltración

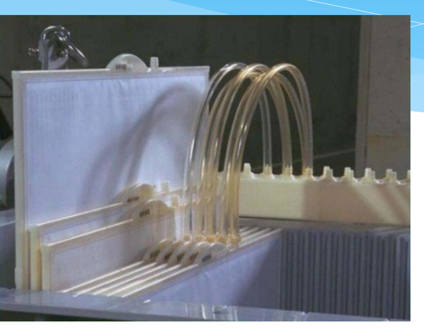
* Ultrafiltración
  * tamaño nominal del poro <0.1 micras
  * remueve bacteria & protozoos, incluyendo *Giardia* y *Cryptosporidium*
  * reduce turbidez a < 0.1 NTU
  * remueve 6 log de virus, ácidos húmicos, taninos, proteínas y coloides.
  * No remueve: COT, THMs e iones.

Tipos de Membranas

Fibras

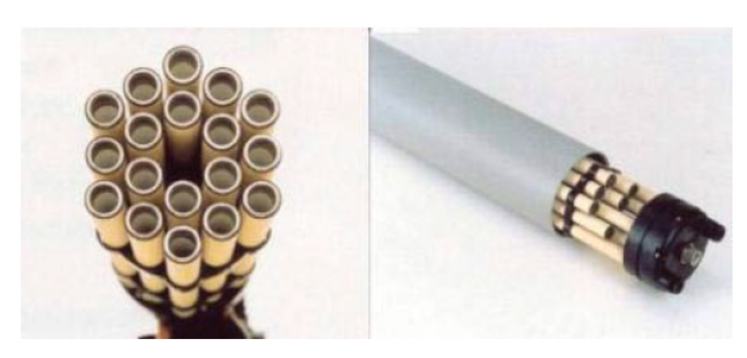


Planas/Placas

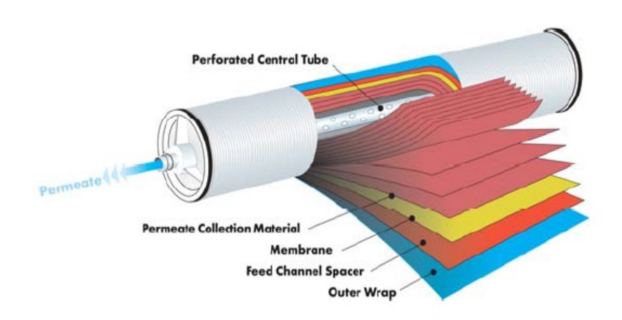




Tubulares



Espirales



Membranas tubulares





Membranas cerámicas



Membranas capilares





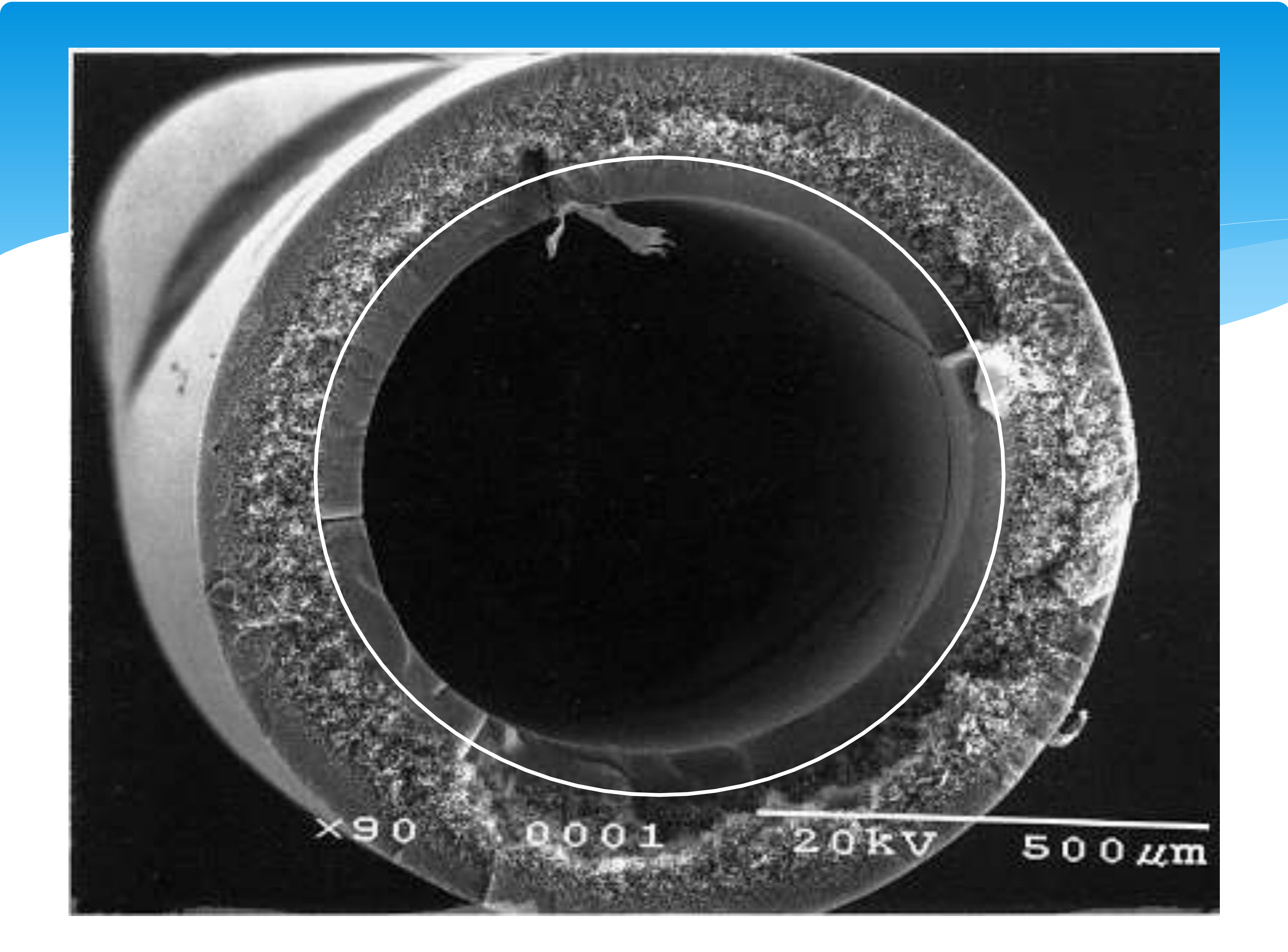
SELECCIÓN DE MEMBRANAS



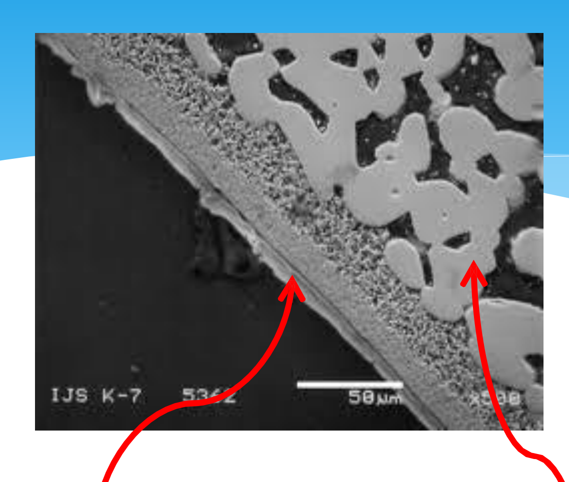
PLANAS E.D.	**MODERADOS S.S.**
ESPIRAL O.I. – N.F. – U.F. – M.F.	**LAS MÁS USADAS** **FLUIDOS CON POCOS S.S.**
FIBRA HUECA O.I. – U.F. – M.F.	**FLUIDOS CON POCOS S.S.**
TUBULAR U.F. – M.F.	**FLUIDOS CON ALTO CONTENIDO** **EN FIBRAS Y S.S. O ALTA VISCOSIDAD**
CERAMICAS U.F. – M.F.	**ALTOS NIVELES DE S.S. Y ALTAS** **VISCOSIDADES**

Membranas de fibra hueca

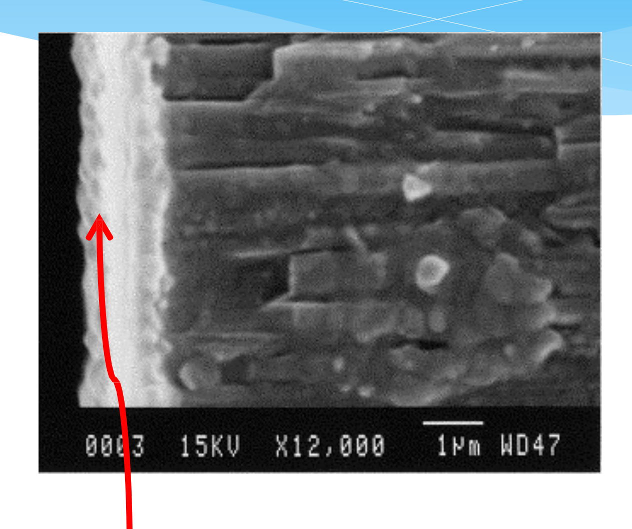
* Sentido de la filtración:
  * Dentro-fuera
  * Fuera-dentro
* Proceso
  * Presurizada
  * Sumergida
* Química de la membrana
  * Materiales diferentes
* Disposición
  * Vertical/horizontal


×90 0001 20kV 500 µm

Capas de la membrana



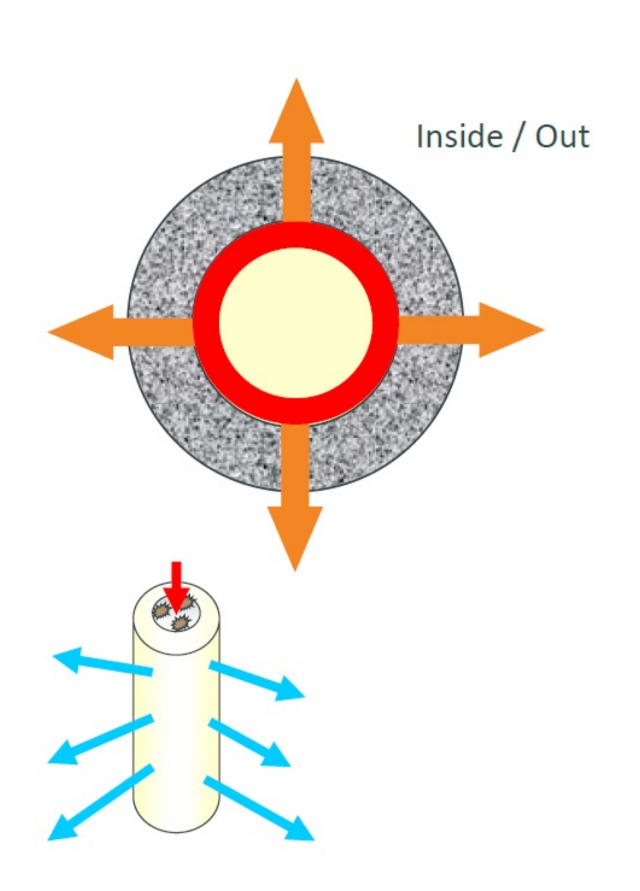
Capa fina (Óxidos de Aluminio, Titanio o Zirconio) y soporte poroso en membranas cerámicas

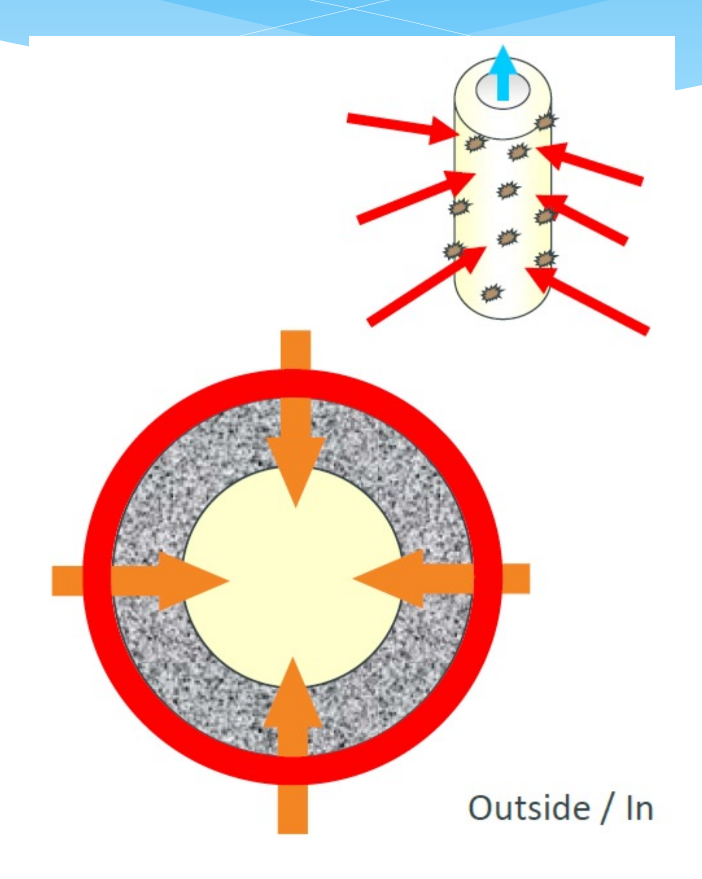


Capa fina en membranas orgánicas

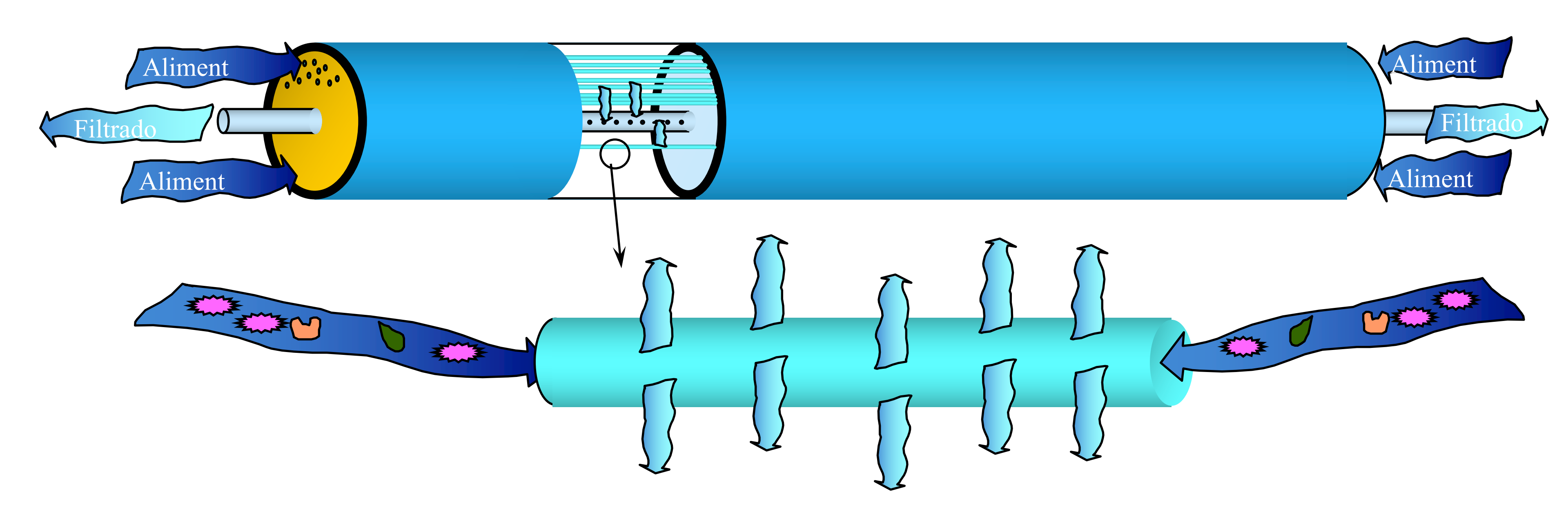
La fabricación de la capa fina y su agarre al soporte supone el mayor coste de la membrana.
El despegue de la misma durante el contra lavado es el mayor peligro.

Dentro-fuera vs. Fuera dentro

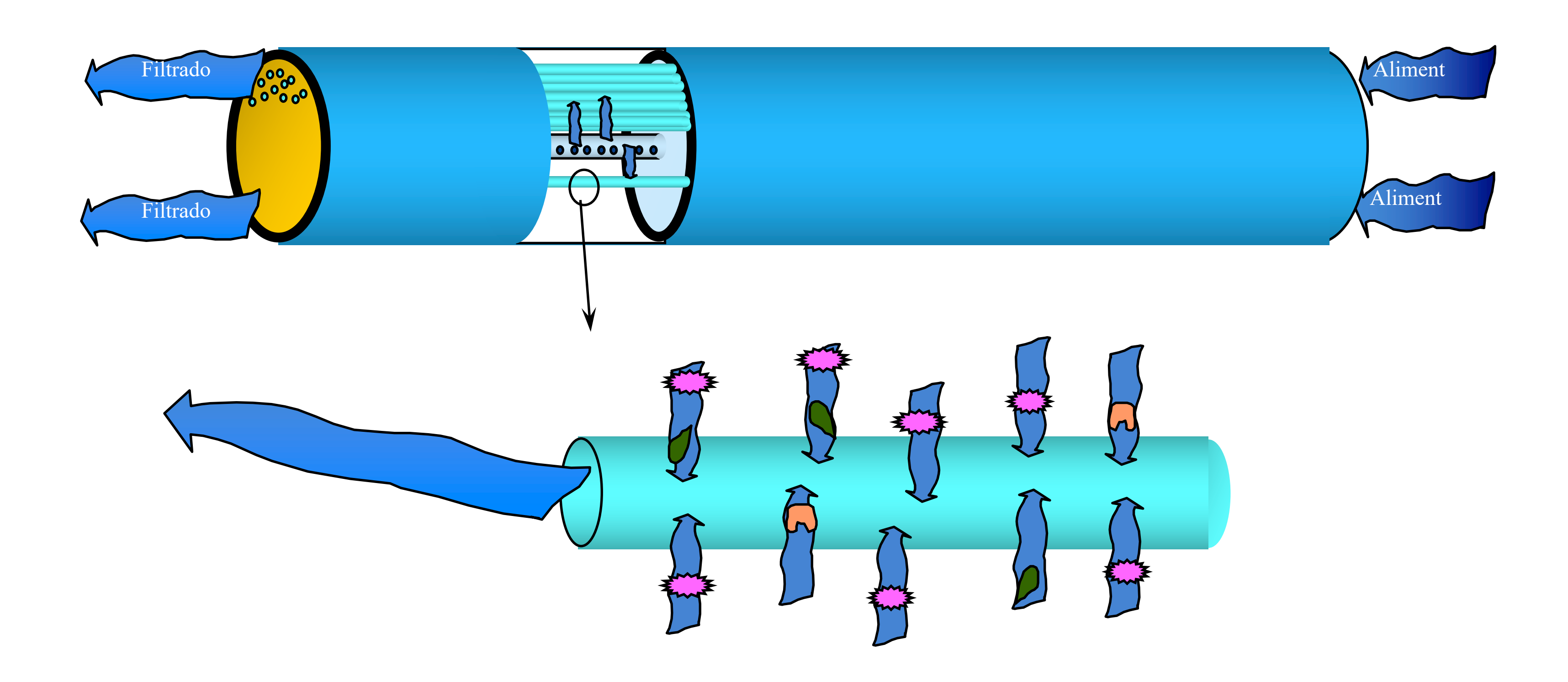




Fibra Hueca (dentro-fuera)



Fibra Hueca (fuera-dentro)



Dentro-Fuera vs. Fuera-dentro

	Dentro-afuera	Afuera - dentro
Contra lavado (BW)	› Flujo BW uniforme muy alto a lo largo de la fibra.	› Medio › Requiere aire para una buena eficiencia.
Tiempo fuera de servicio	› Bajo › BW solo con agua	› Alto › BW con aire y agua
Aire	› No	› Si › Estrés mecánico de las membranas
Eliminación de la suciedad	› Muy buena	› Media
Consumo energético	› Bajo	› Medio
SST del agua bruta	› Medios	› Altos
Riesgo de obstrucción	› Bajo	› Muy bajo

MF / UF DE FIBRA HUECA

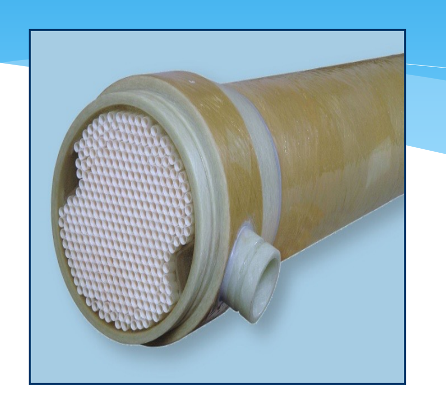
* Dentro –Fuera : Norit - Hydranautics
* Fuera-Dentro : Memcor-Dow-Toray

Tipos de operación

* Presurizada
* Sumergida

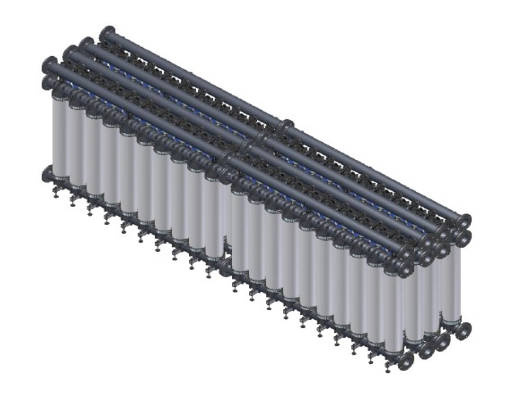
Presurizadas

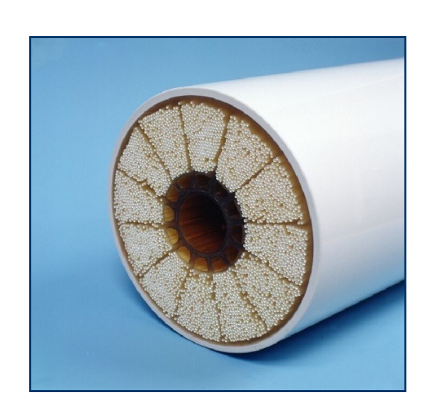


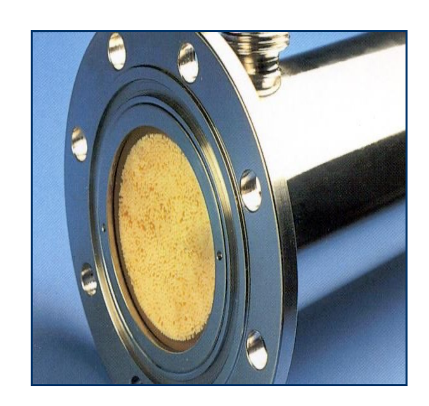




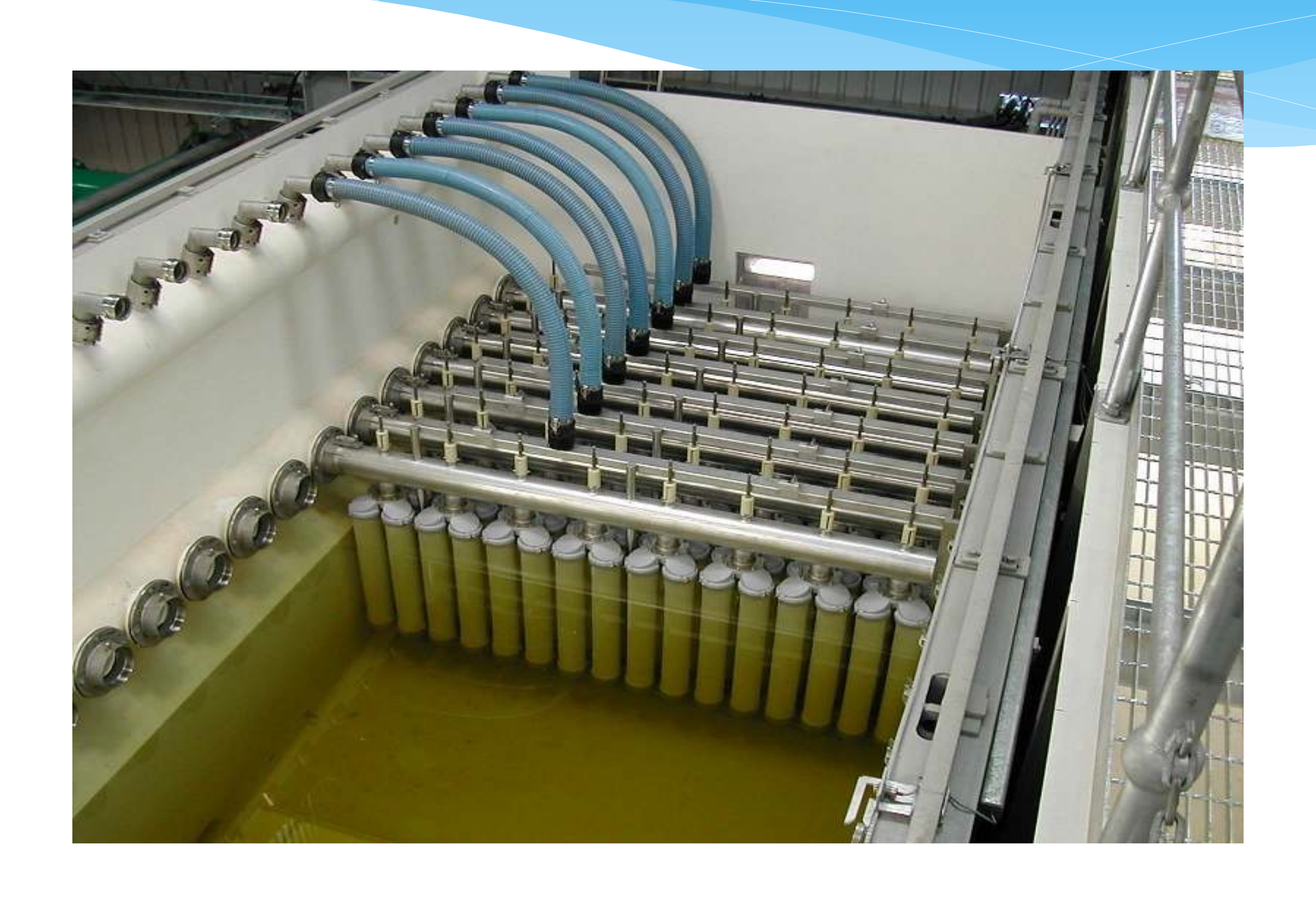




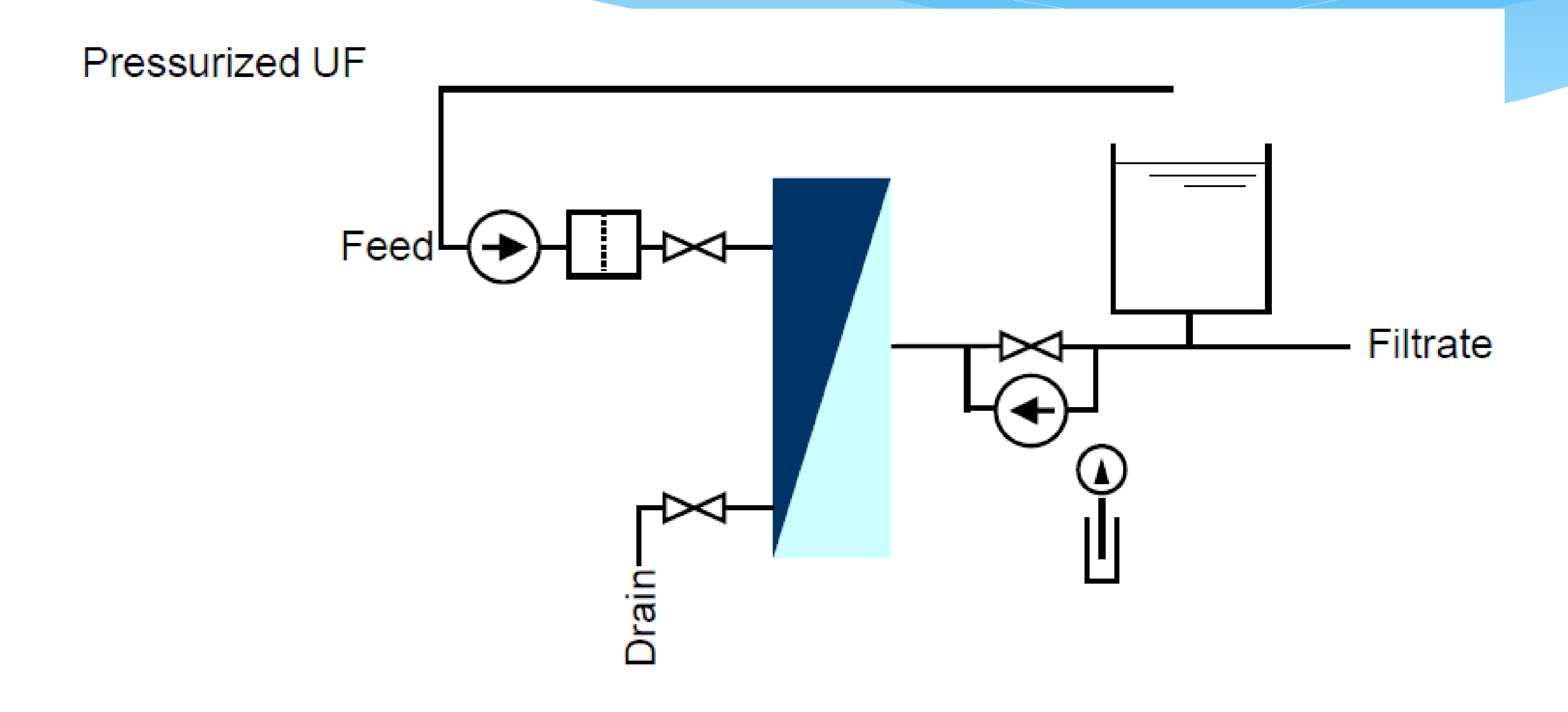




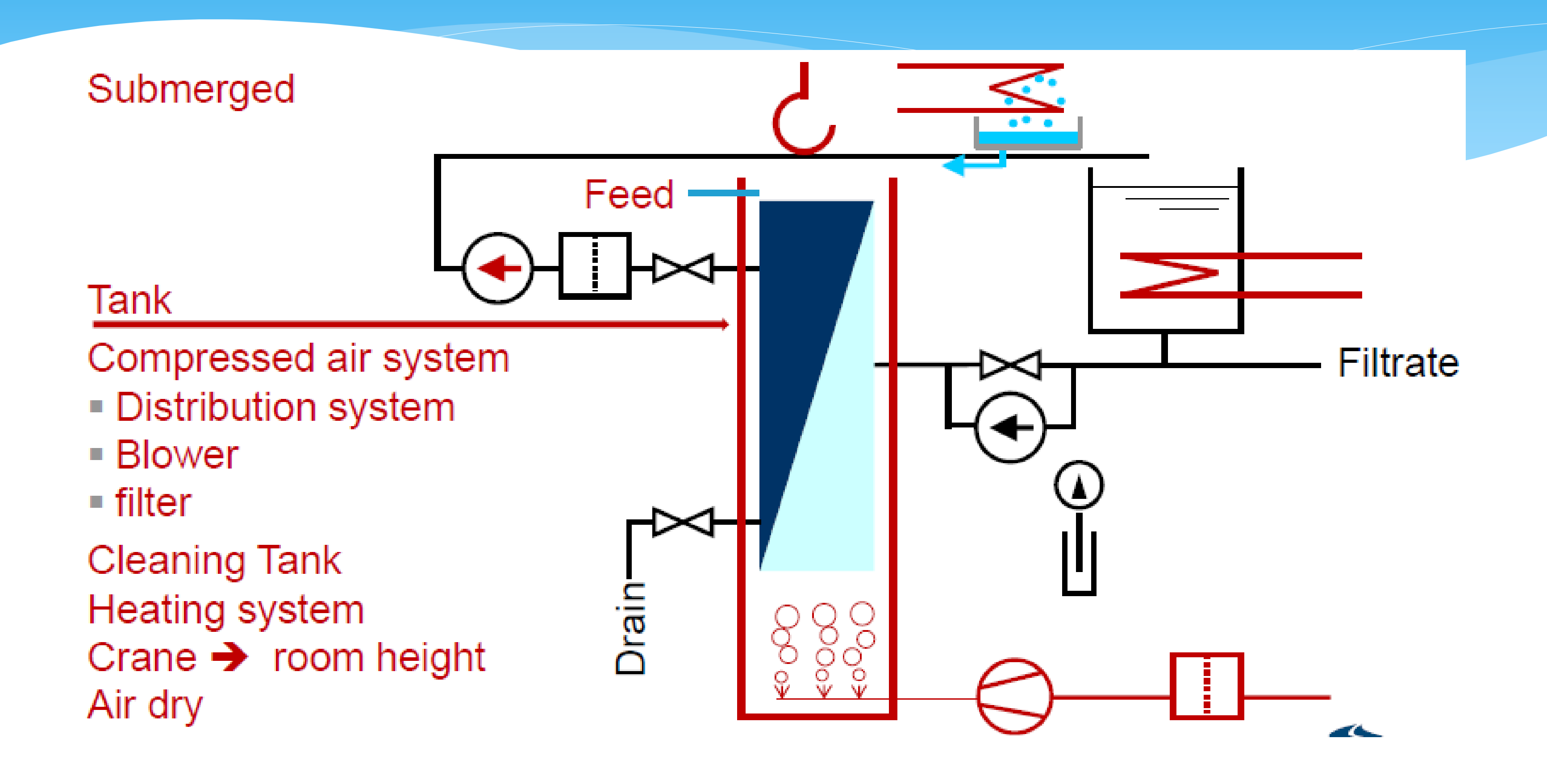
Sistema sumergible



Pressurized vs. Submerged



Pressurized vs. Submerged



Presurizada vs. Sumergida

	Presurizada	Sumergida
Agua bruta	Acepta SST hasta 200 mg/L	Acepta SST muy altos, hasta 10 g/L
Flujo (LMH)	50-140	20-60
Mantenimiento	Fácil	Difícil
Costo	Medio	Alto (tanques, varias bombas, grúas, etc.)
Lavado	Muy eficiente	Menos eficiente
Olor	Sin olor, operadores no expuestos a aerosoles	Alto

Sumergidas vs. presión

- Las membranas orgánicas, pueden ser sumergidas y a presión.
- Las cerámicas solo a presión.



Disposición

- Vertical
- Horizontal

Disposición vertical



Disposición horizontal



Materiales

Propiedades ideales de las membranas

Porosidad alta

Distribución estrecha de los poros.

Dureza, elongación y presión de trabajo altas.

Buena flexibilidad

Carácter hidrofÍlico .

Rango alto de pH

Tolerancia al cloro

Costo bajo

Características de las membranas

- Las membranas cerámicas son mejores que las orgánicas en términos de durabilidad.
- El mayor problema con las membranas es el ensuciamiento.
- La superficie de la membrana debe ser lisa, hidrofilica y con carga neutra.
- Es muy difícil que las tres condiciones se den al mismo tiempo.

Materiales comerciales de la MF/UF

CA – Acetato de celulosa

PS – Polisulfona

PES – Polieter sulfona

PAN – Poliacrilonitrilo

PVDF – Polivinilidieno floruro

PP – Polipropileno

PE – Polietileno

PVC – Cloruro de polivinilo.

Características de las membranas

Hidrofilicas ⟷ Hidrofobicas

CA

PAN, PES.PS,PVDF,PE,PP

La mayoría de los materiales son hidrofóbicos y no Hidrofílicos

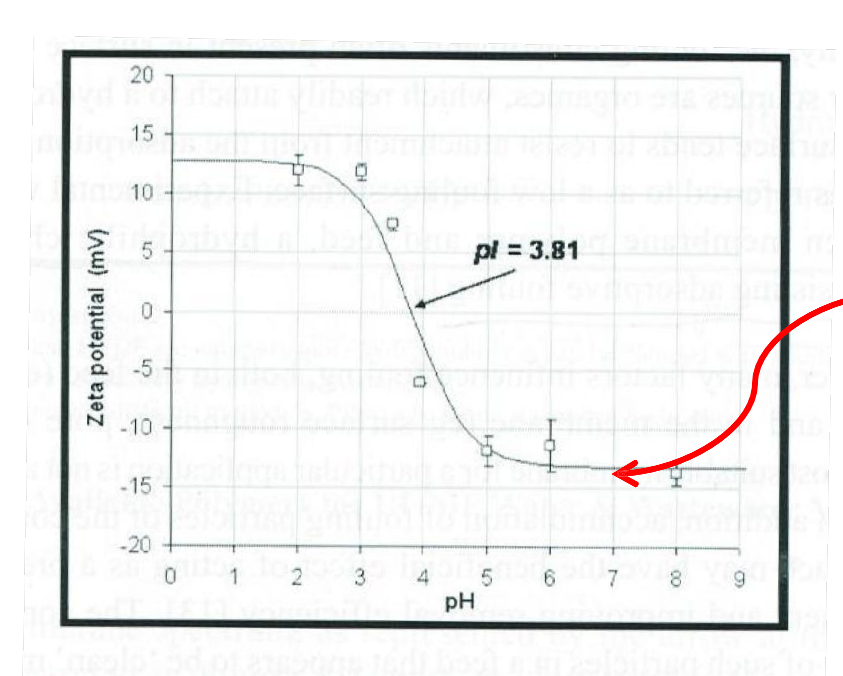


Figure 2.6: Zeta Potential curve for a typical polymer

La mayoría de las membranas están cargadas negativamente.

SELECCIÓN DE MATERIALES

TEMPERATURA MÁXIMA DE TRABAJO

ACETATO DE CELULOSA	$\Rightarrow$	30° C
POLIAMIDA	$\Rightarrow$	50° C
POLISULFONA	$\Rightarrow$	70° C
PVDF	$\Rightarrow$	70° C
CERAMICA	$\Rightarrow$	130° C

Materiales

	PES	PVDF	Cerámica
Tolerancia al cloro	Alta Limitada a 200,000 ppm x hr	Muy alta	Sin limites
Rango de pH	1 - 13	1 – 11 / 12	0 – 14
Hdrofilicidad (con aditivos)	Muy alta	Alta	Muy alta
Tamaño del poro	Pequeño	Grande	Grande
Resistencia y flexibilidad	Alta	Muy alta	Muy alta

Materiales preferidos

Resistencia mecánica y durabilidad

PVDF – Floruro de Polivinilidieno

PS – Polisulfona

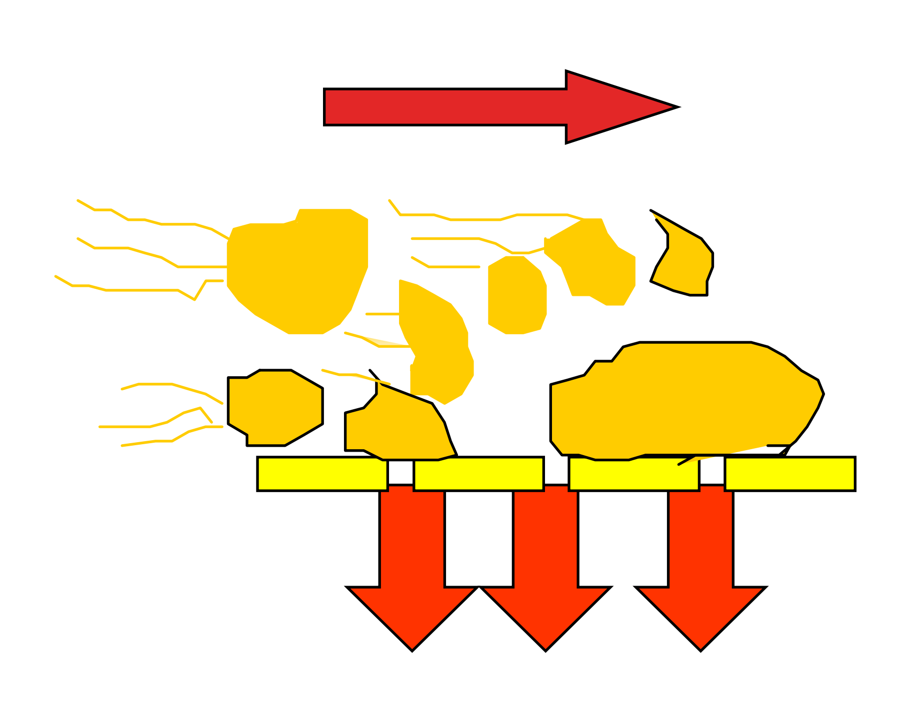
PES – Polieter sulfona

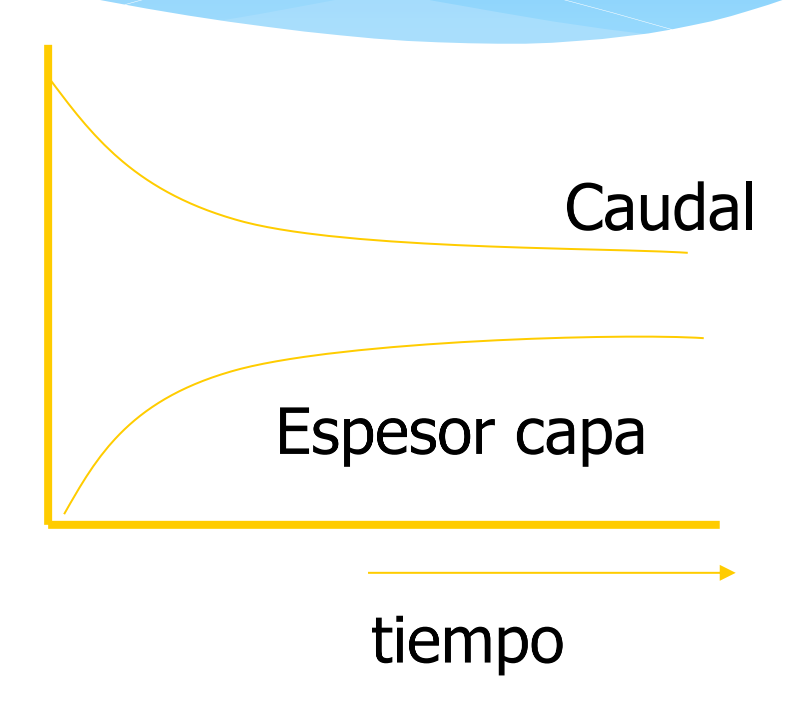
PAN – Poliacrilonitrilo

Costo bajo

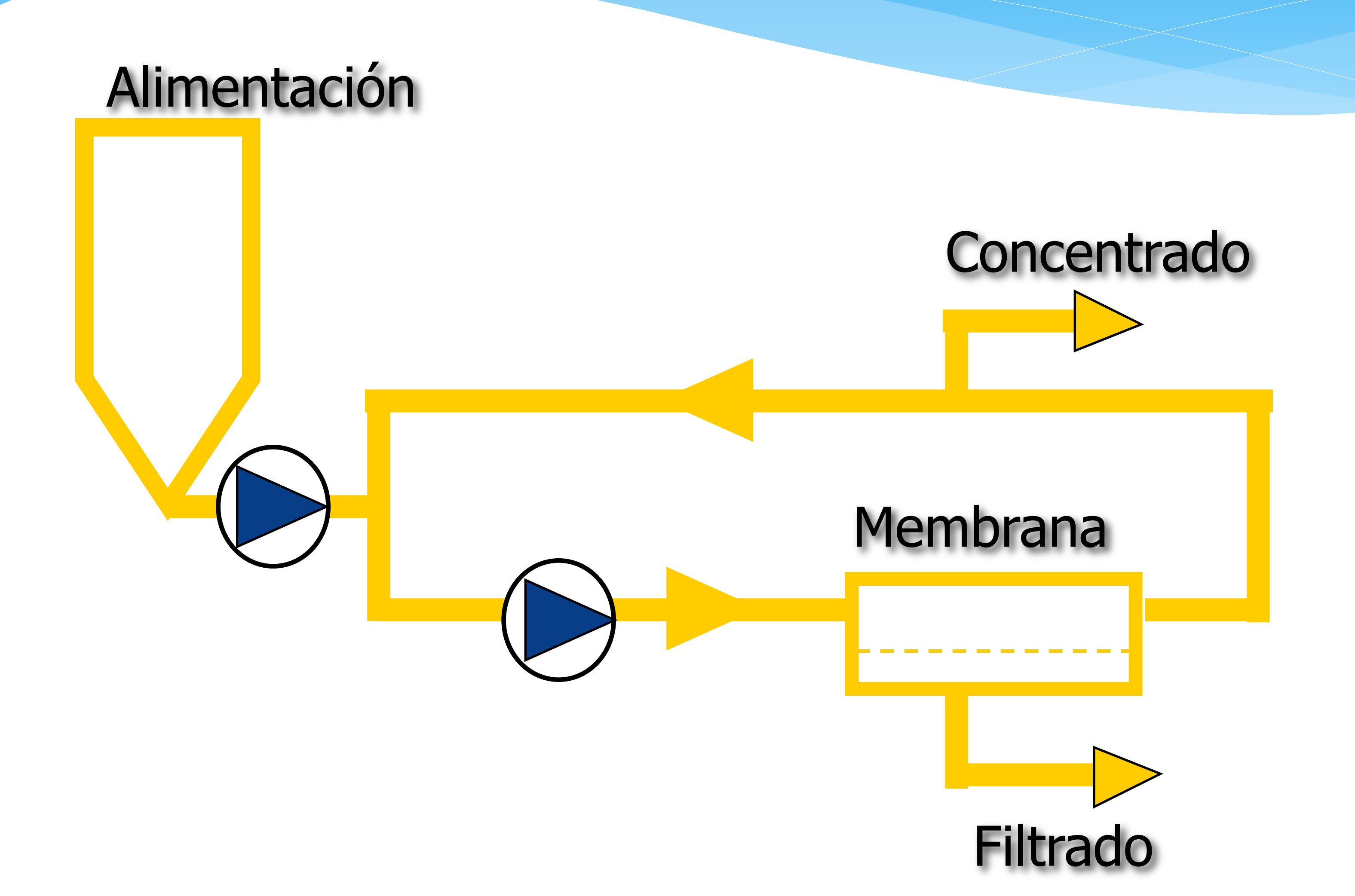
PE – Polietileno

Flujo Tangencial

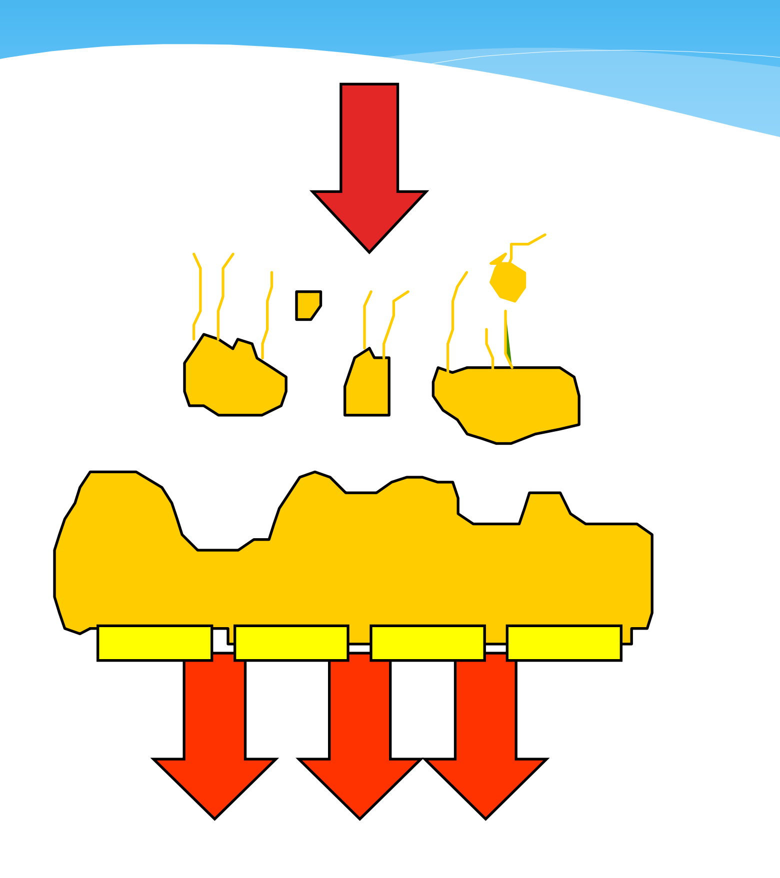




Flujo Tangencial



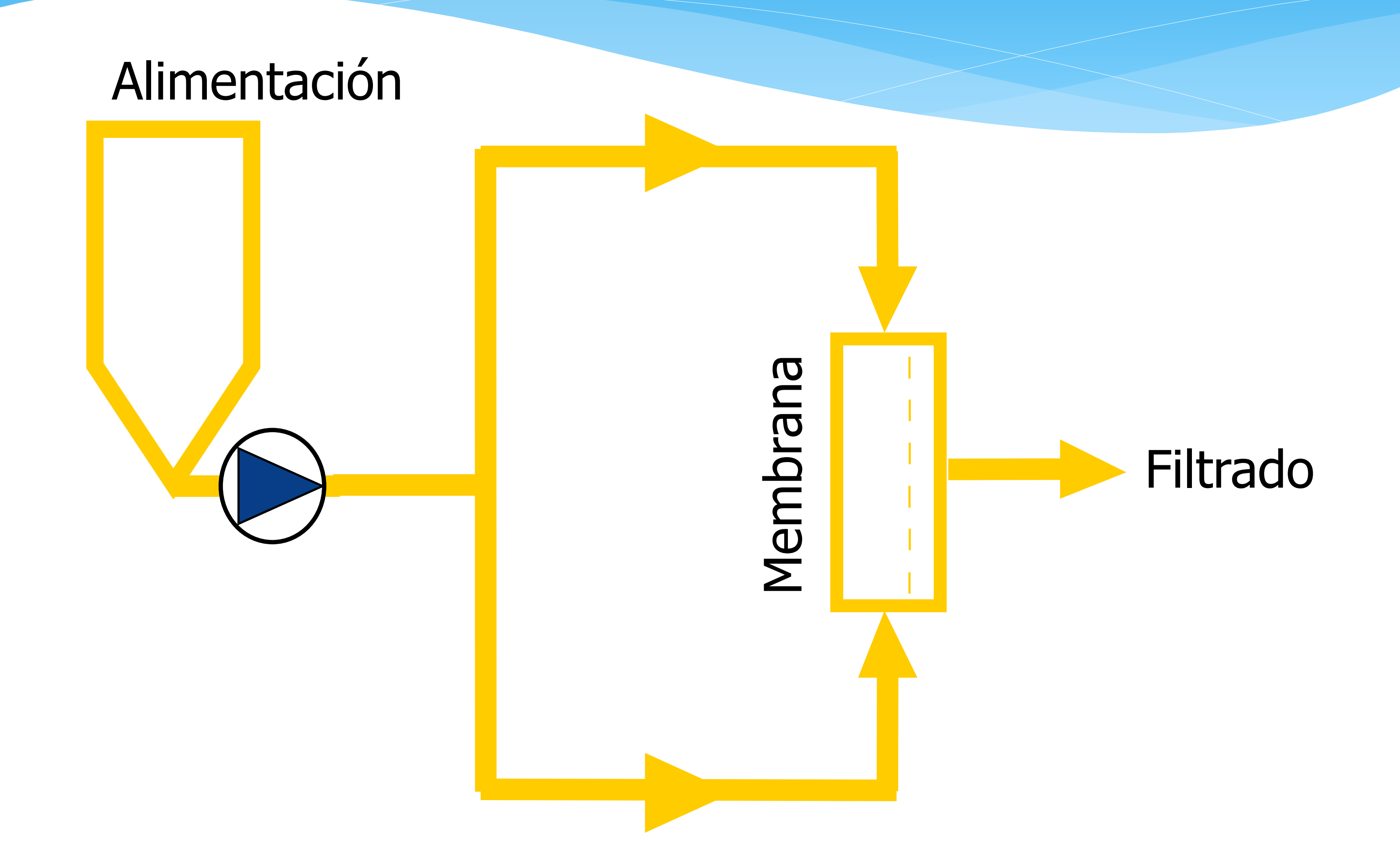
Filtración total



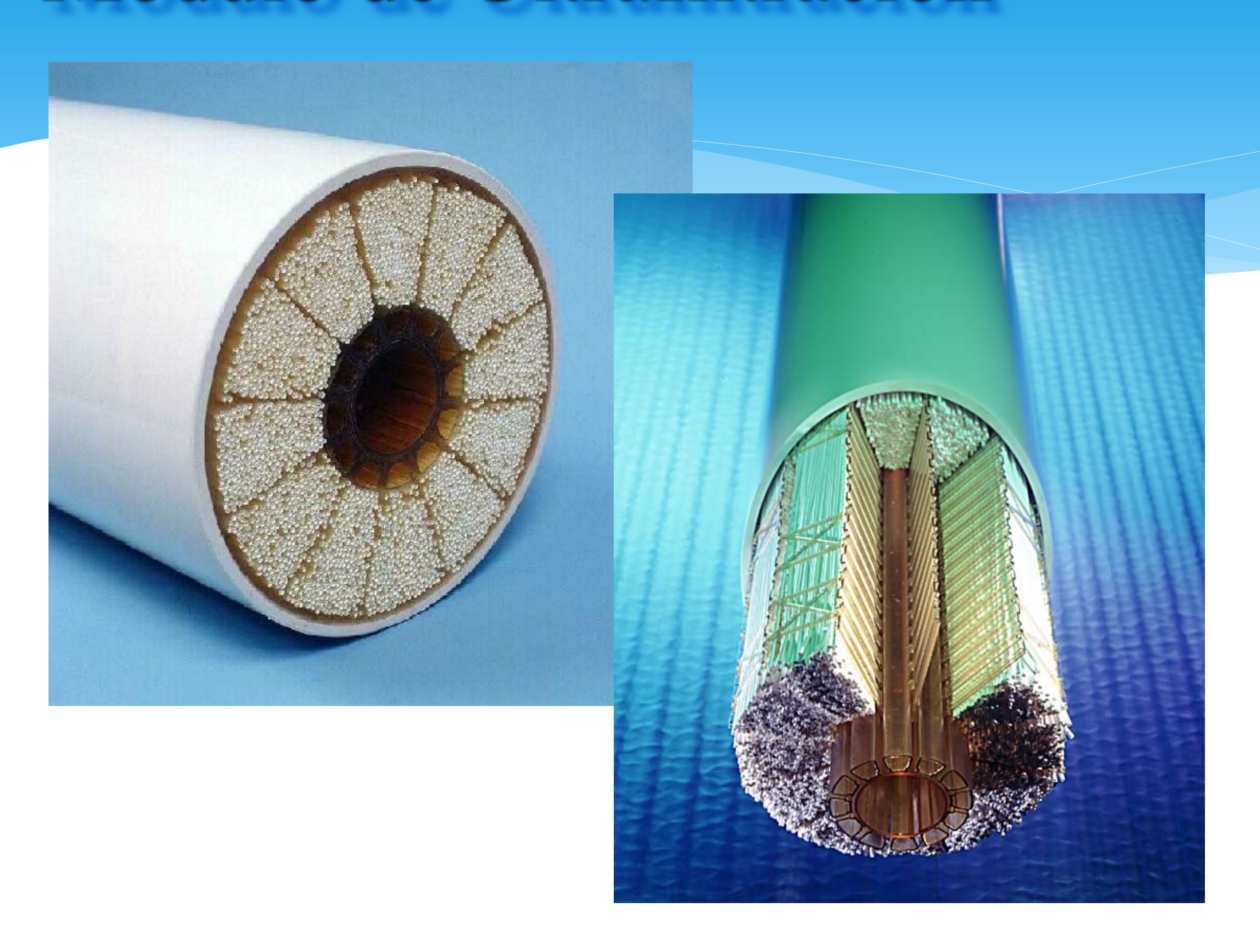
Espesor capa

Caudal

Filtración total



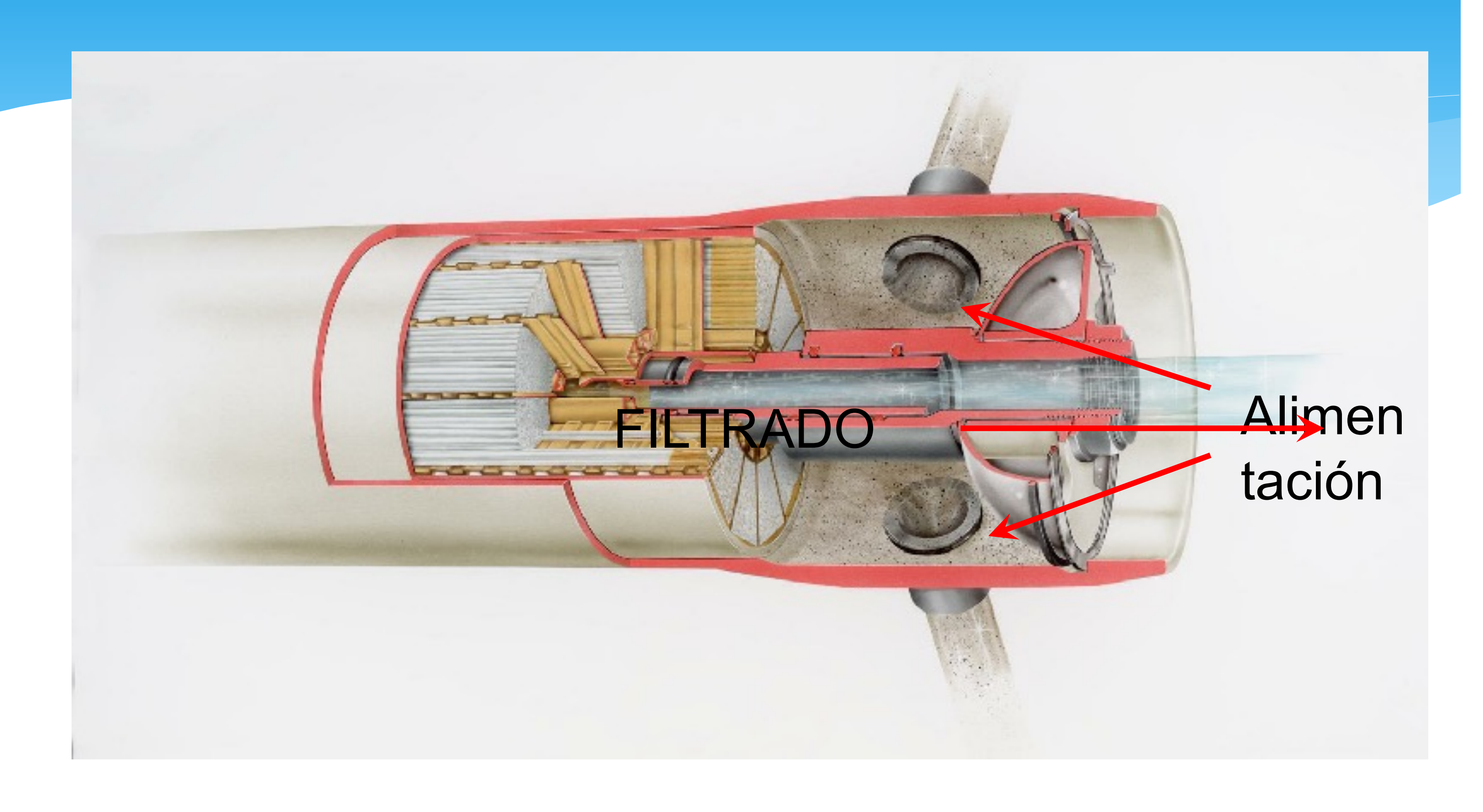
Modulo de Ultrafiltración



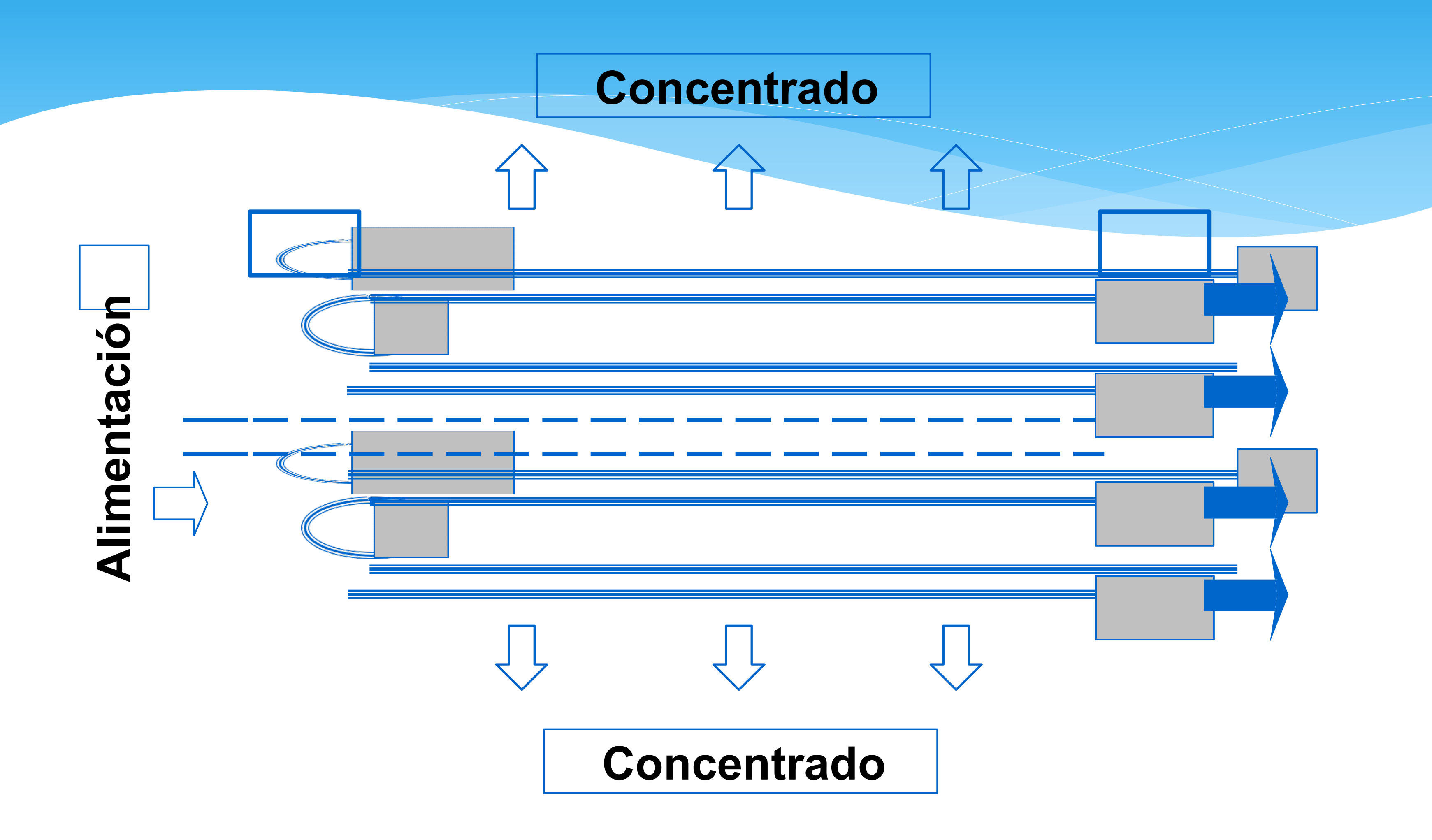
MEMBRANA TIPO OSMOSIS INVERSA



Modulo de Ultrafiltración



Disposición de las fibras



Definiciones

* Flujo
* Presión transmembrana
* Permeabilidad
* Rechazo

Definiciones - Flujo

- $\dot{J} = \frac{\dot{V}_f}{A}$

Donde

- $\dot{J}$ = flujo (l/m²/h)
- $\dot{V}_f$ = Caudal filtrado (l/h)
- A = Área de la membrana (m²)

Definiciones - PTM

PTM = Presión Tras Membrana = $(P_a + P_c)/2 – P_p$

P_a = Presión de la alimentación

P_c = Presión del concentrado

P_p = Presion del permeado

PE– Permeabilidad especifica = $Q/(A_m * TMP)$

Q – Caudal filtrado A_m – Área de la membrana.

Definiciones-Permeabilidad

- P= $\frac{j}{PTM}$
  - P = Permeabilidad (l/m²/h/bar)
  - j = Flujo (l/m²/h)
  - PTM = Presión transmembrana (bar)

Definiciones - Rechazo

El rechazo R es el porcentaje de la concentración de solidos que permanece en el lado de alimentación de la membrana con respecto al lado del filtrado.

* $R = \left(1 - \frac{C_f}{Ca}\right) \times 100\%$
* Donde:
  * R = Rechazo (%)
  * C = Concentración (mg/l)

Operación

* operación

Modos de Operación

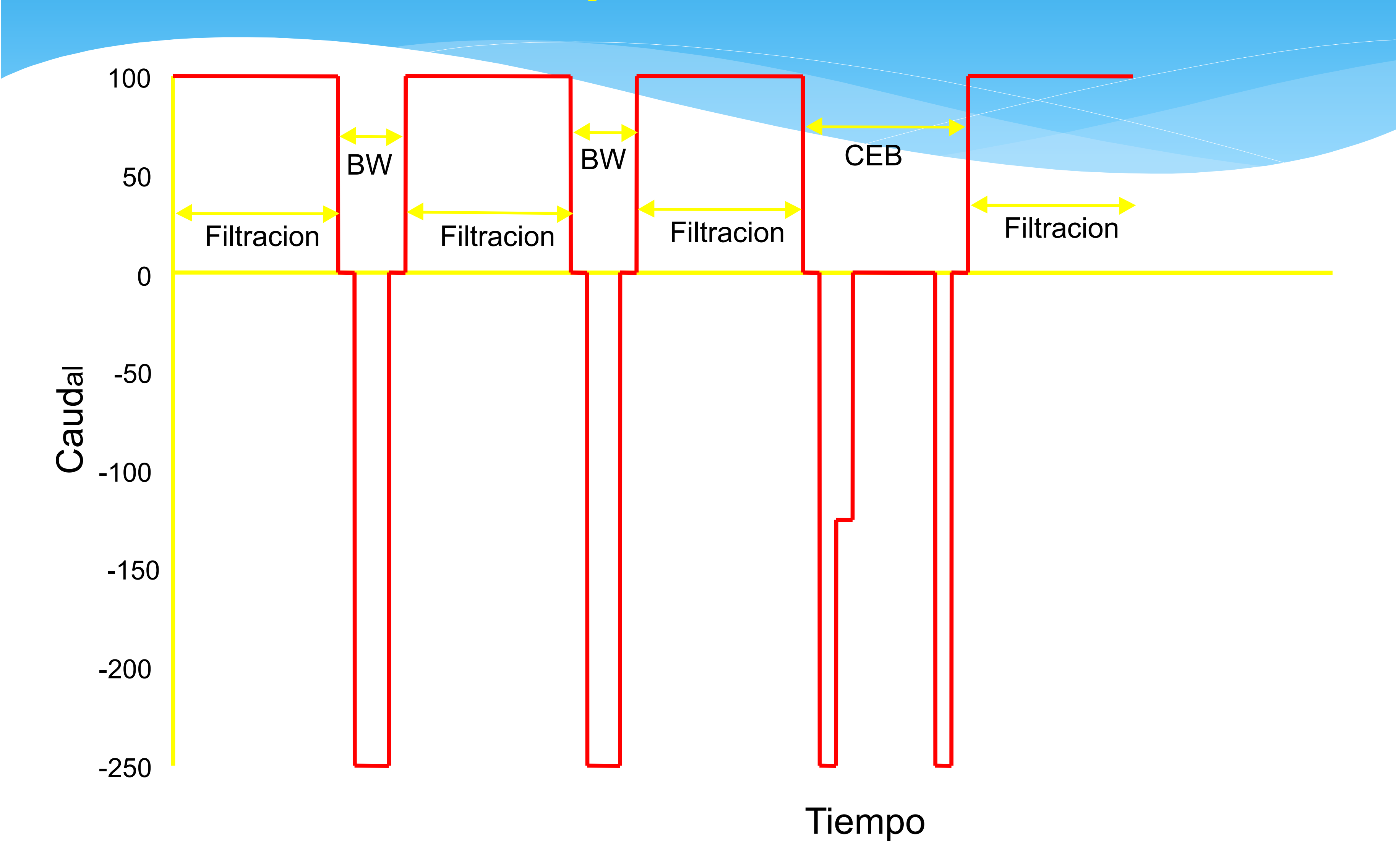
- Cinco modos de operación :

  - Filtración
  - Contra lavado (BW)
  - Lavado químico (CEB)
  - Lavado enérgico (CIP)
  - Test de integridad

Modos de operación

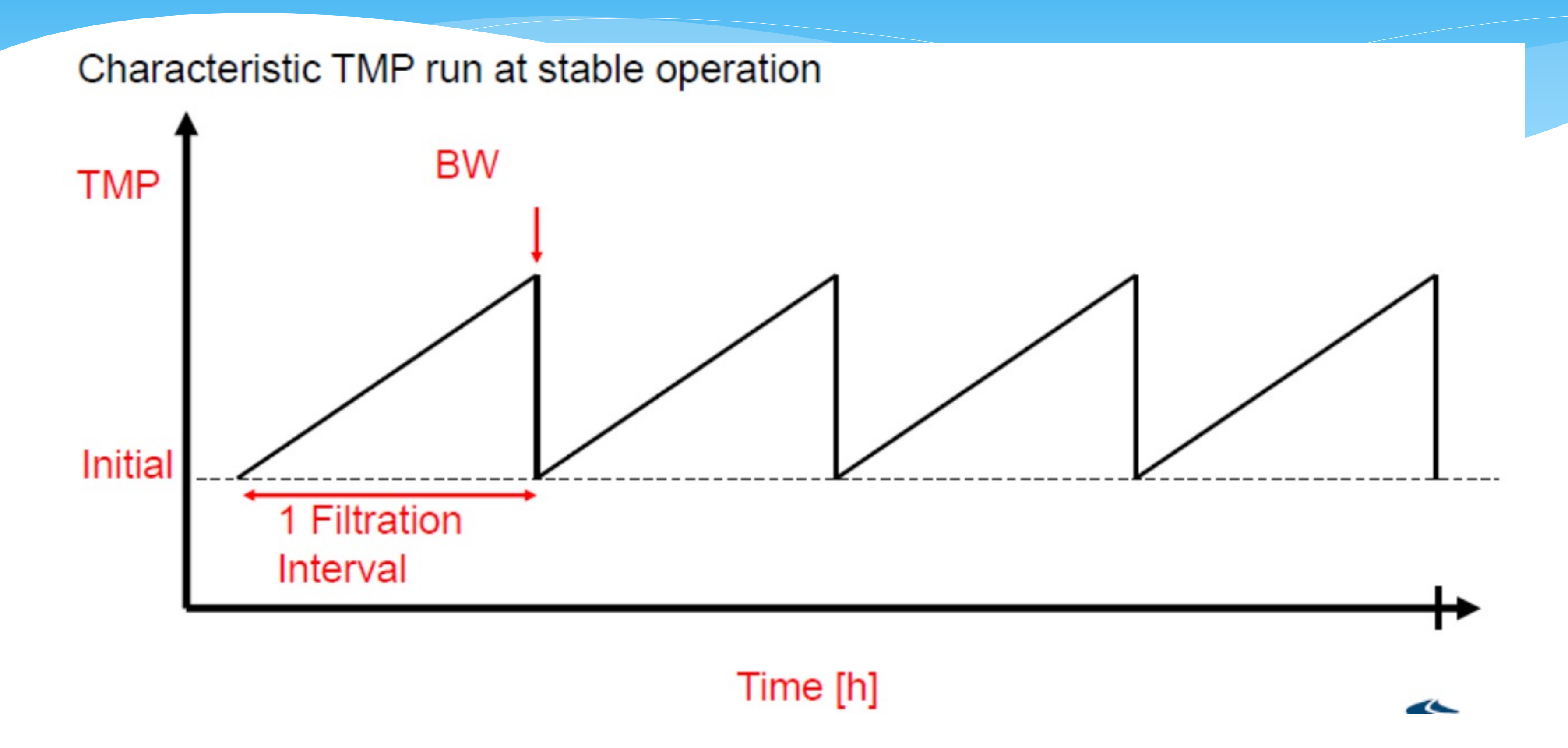
Proceso	**Objetivo**	**Duración**	**Frecuencia**
Filtrado	Producción	15 – 60 min	Continuo
Contra lavado (BW)	Eliminar suciedad	30 – 60 sec	Cada 15 – 60 min
Lavado químico (CEB)	Eliminar suciedad	1 – 15 min	Uno – dos al día.
Lavado enérgico (CIP)	Eliminar suciedad	2 – 4 hr	Cada 1 – 2 sem
Test de integridad (IT)	Verificación de la integridad de la membrana	20 min	Cada 1 – 7 días

Operación

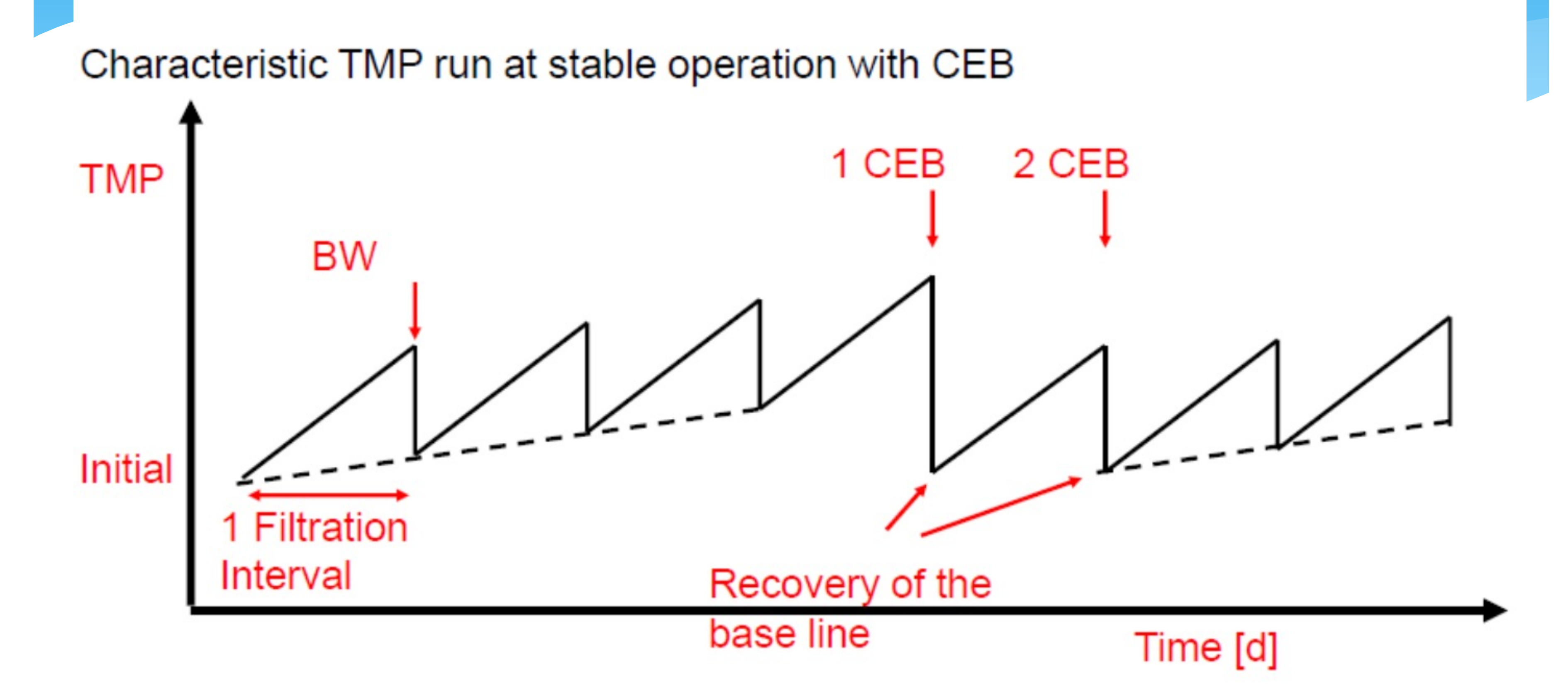


100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
Caudal
Tiempo
BW
BW
CEB
Filtracion
Filtracion
Filtracion
Filtracion

Filtración, lavado



Lavado químico (CEB)



Lavado químico (CEB)

- Agua filtrada: flujo 230 lmh, duración aproximada 60 segundos
- Tiempo de remojo: 5-60 minutos
- Recommended chemicals for the CEB Procedure

Lavado químico(CEB)

* Agua filtrada: flujo 230 lmh, duración aproximada 60 segundos
* Tiempo de remojo: 5-60 minutos
  Químicos utilizados:

Acid		Caustic	Oxidant
Inorganic Fouling		Organic Fouling	
Hydrochloric acid (HCl)	Sulfuric acid (H_2SO_4)	Caustic (NaOH) (Option: +NaOCl)	Sodium hypochlorite NaOCl + (NaOH)
pH range: 1-2.5		pH range: 12-13 (Option: +200 ppm as free chlorine)	20-50 ppm as free chlorine pH > 9.5
Soaking: 10-60 minutes		Soaking: 10-50 minutes	Soaking: 5-30 minutes

Lavado enérgico (CIP)

For special applications and/or long time effects:
- CIP cleaning

Lavado enérgico (CIP)

Acid			Caustic	Oxidant	Surfactants
Inorganic fouling			Organic fouling		
HCl	Sulfuric Acid H_2SO_4	Citric acid	NaOH (Option: +NaOCl)	NaOCl + (NaOH)	Sodiumlauryl-sulfate + NaOH
pH – range 1 – 2.5		4 g/l at pH 2	pH – range 12 – 13	50 – 100 ppm as free chlorine	2 – 4 g/l at pH 12
Soaking time: 2 – 12 hours					
Temperature: < 40°C			Temperature change: < 1°C / minute		

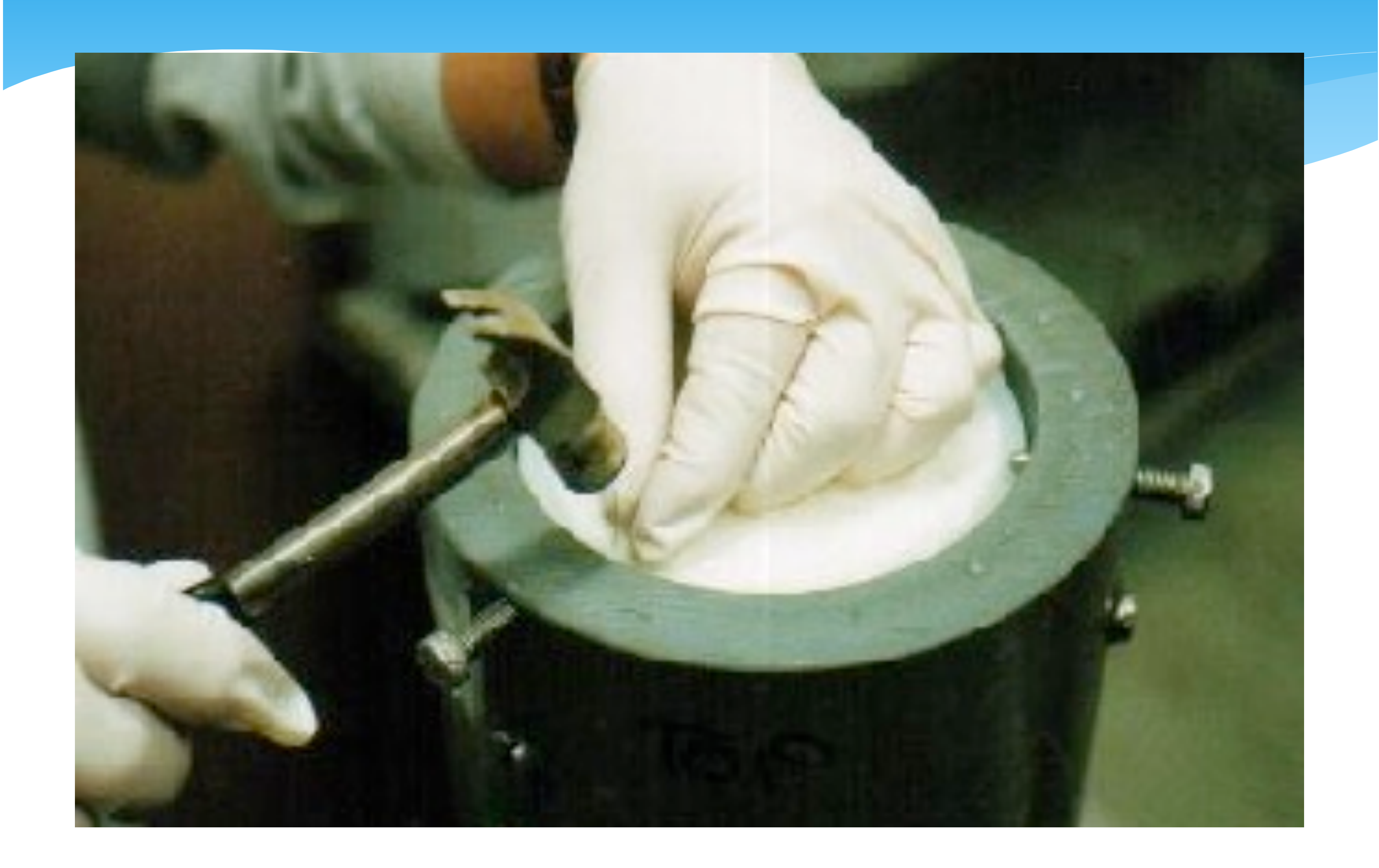
Test de integridad

Consiste en inyectar aire y esperar a ver si la presión se mantiene o baja.

Si baja indica que hay fibras rotas.



Sellado con alfileres de una fibra rota



Prueba de estanqueidad



MF / UF Características

Los equipos de MF/UF incorporan el sistema de limpieza y dosificaciones químicas, ya que requieren de limpiezas automáticas muy frecuentes, ya sea con agua y/o aire o con productos químicos.

El hecho de trabajar, en general, de modo discontinuo debido a las frecuentes limpiezas, implica la necesidad de tener un depósito intermedio o una torre de regulación entre estos sistemas y los de membranas posteriores.

MF / UF Características

-Estos sistemas trabajan a bajas presiones (normalmente menos de 2-3 bar) y por tanto tienen un consumo energético bajo (que puede estar en el entorno de 0,2-0,3 kWh/m^3)

-Todos trabajan con limpiezas químicas muy frecuentes

-Muchos de estos sistemas utilizan lavado con aire.

-La calidad del filtrado no es tan buena como se podría pensar.

-En general producen un agua con una calidad inferior a la de los filtros de arena.

MF / UF Características

* Los fabricantes garantizan normalmente un $SDI_{15} = 3$

* Muchas Plantas están soportando cambios muy frecuentes de filtros de cartucho de hasta uno por mes. (Debería ser de uno cada 6 meses)

* Teóricamente el SDI_{15} debería ser menor de 0,5

Diseño del Sistema

* Especifico de membranas
  * Flujo, ensuciamiento, recobro, limpiezas
* Especifico de la aplicación
  * Capacidad, necesidades de desinfección, turbidez, COT, temperatura

Diseño del Sistema - flujo

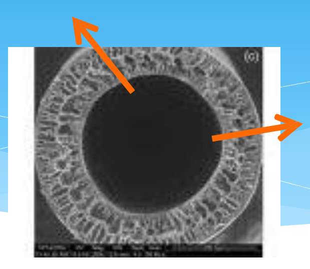
* Flujo ($l/m^2/hr$, gfd, gpm/m^2)

* El flujo varía con la calidad del agua, pretratamiento y temperatura

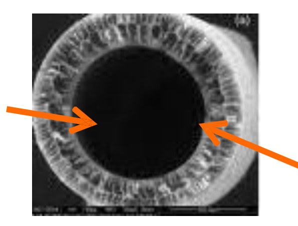
* Al aumentar el flujo:
  * Se reduce el costo de inversión
  * aumentando el de operación y las limpiezas

Diseño

- Para dentro fuera el flujo es de 60 a 80 lmh (litres/m^2/hour) y la turbidez maxima debe ser <10 NTU



- Para fuera dentro el flujo es de 45 to 65 lmh y la turbidez máxima del agua debe ser < 30 NTU



- Para sumergidas el flujo es de 30 a 45 lmh y la turbidez maxima del agua debe ser <30 NTU



Diseño de la UF

La UF necesita una etapa previa de filtración, comprendida normalmente entre las 100 y las 300 µ. siendo 100 µ el valor mas usado al objeto de evitar el paso de huevos de moluscos que colonizarían las membranas.

Los filtros suelen ser de discos (Personalmente no los recomiendo) o auto limpiantes (Cestas perforadas o mallas)



Filtros de discos



FILTROS AUTOLIMPIANTES



FILTROS AUTOLIMPIANTES (CESTAS PERFORADAS Y MALLAS)



Cilindros de acero inox perforados o mallas

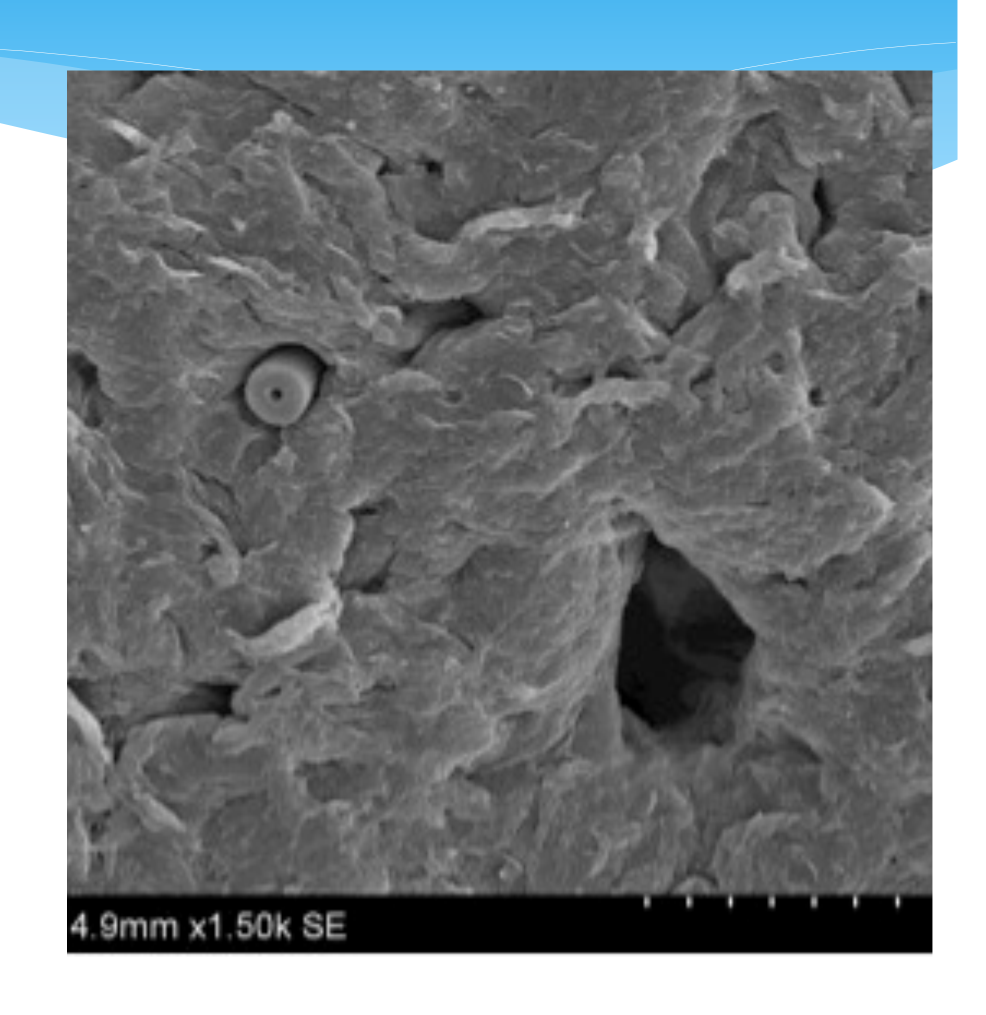
Tamaño del orificio mas usual entre 100 y 300 micras.
(No debe ser menor de 100 micras).

Se usan como paso previo a las membranas de UF / MF



Diseño de la UF

* Aunque algunos fabricantes utilizan flujos elevados (80 -90 lmh) la experiencia dicta que para una operación razonable el flujo debe ser de unos 60 lmh y si puede ser mas bajo mejor.
* Si el agua tiene espículas no se pueden usar membranas fuera-dentro.



Diseño de la UF

* Un detalle muy importante es la configuración de la inyección de productos químicos en los contra lavados.

* ¡¡ ***No se deben añadir en el colector común de agua de lavado, sino directamente en cada modulo de la instalación.*** ¡¡

Diseño – flujos y recobros

	Flujo l/m²h	Recobro %
Agua potable	60 – 130	90 – 97
Terciario	34 – 85	85 – 92
Agua de mar	42 – 70	85 – 92

Diseño – PTM y flujo

- Para reducir el ensuciamiento, la PTM no debe sobrepasar el valor de 1 bar.
- En el caso de sumergidas, la PTM no debe ser mayor de 0,7 bar.
- Las membranas deben operar a un flujo inferior a un valor denominado flujo limite, a partir del cual el ensuciamiento es muy rápido

Tanque de agua filtrada de UF

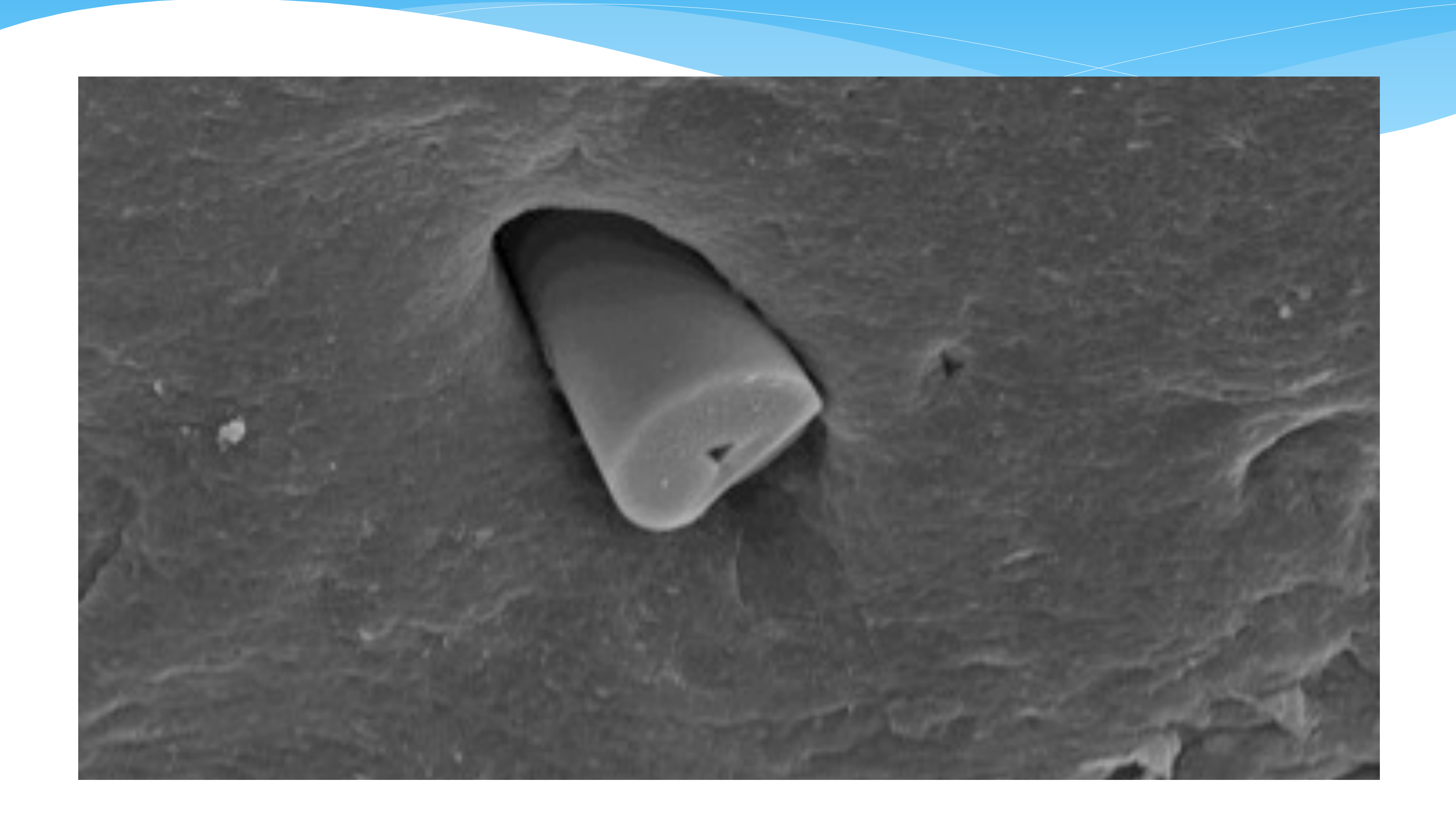
* No es conveniente instalar un tanque de agua filtrada.
* Se produce una gran proliferación de materia orgánica, que afecta a las membranas de OI



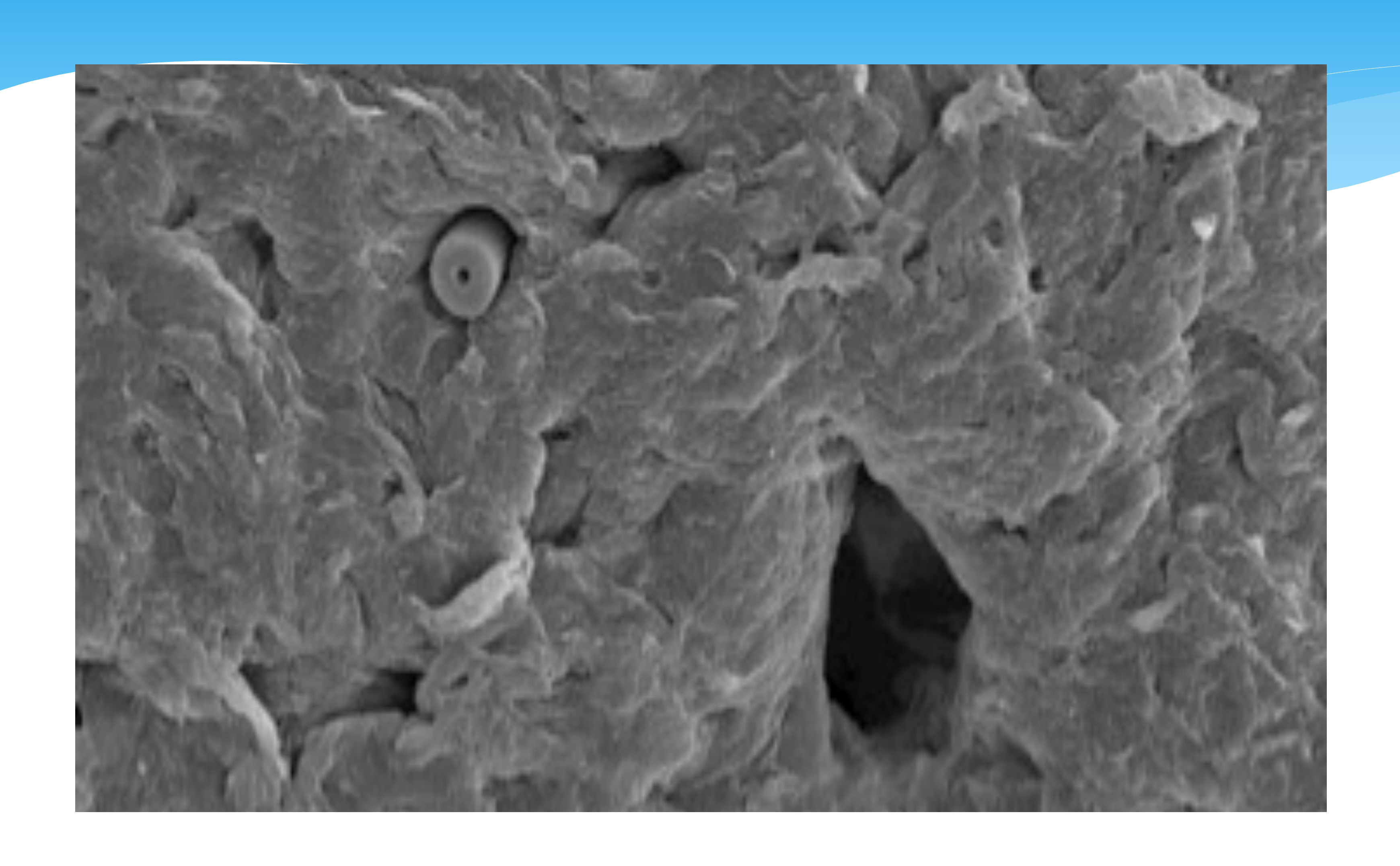
Problemas de las membranas

* Daños producidos por las espículas.
* "Potting"
* Ensuciamiento por PET (Partículas exopolímericas transparentes)

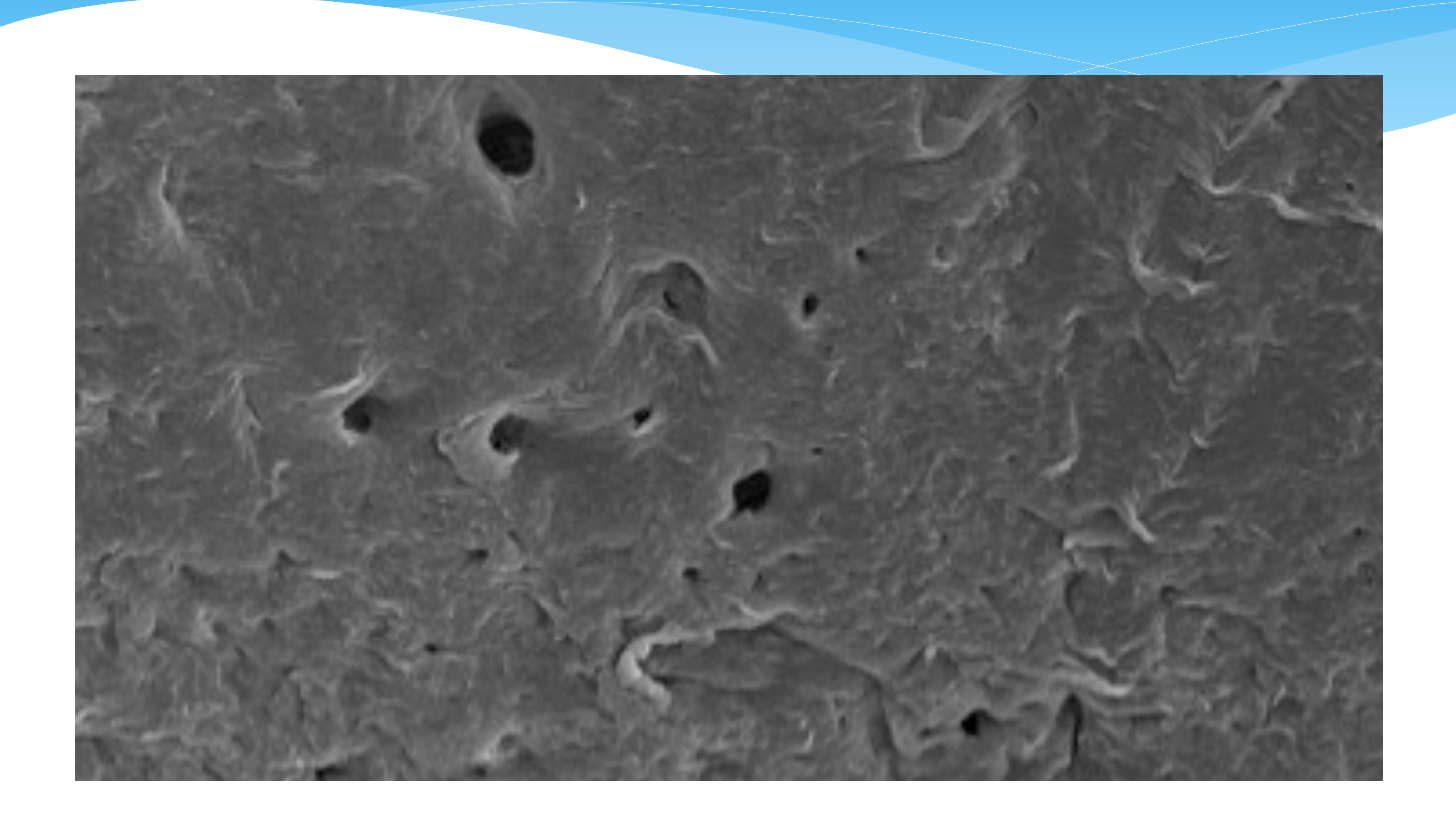
Efecto de espículas en las fibras (3 a 10 μ) Solo ocurre en membranas fuera-dentro



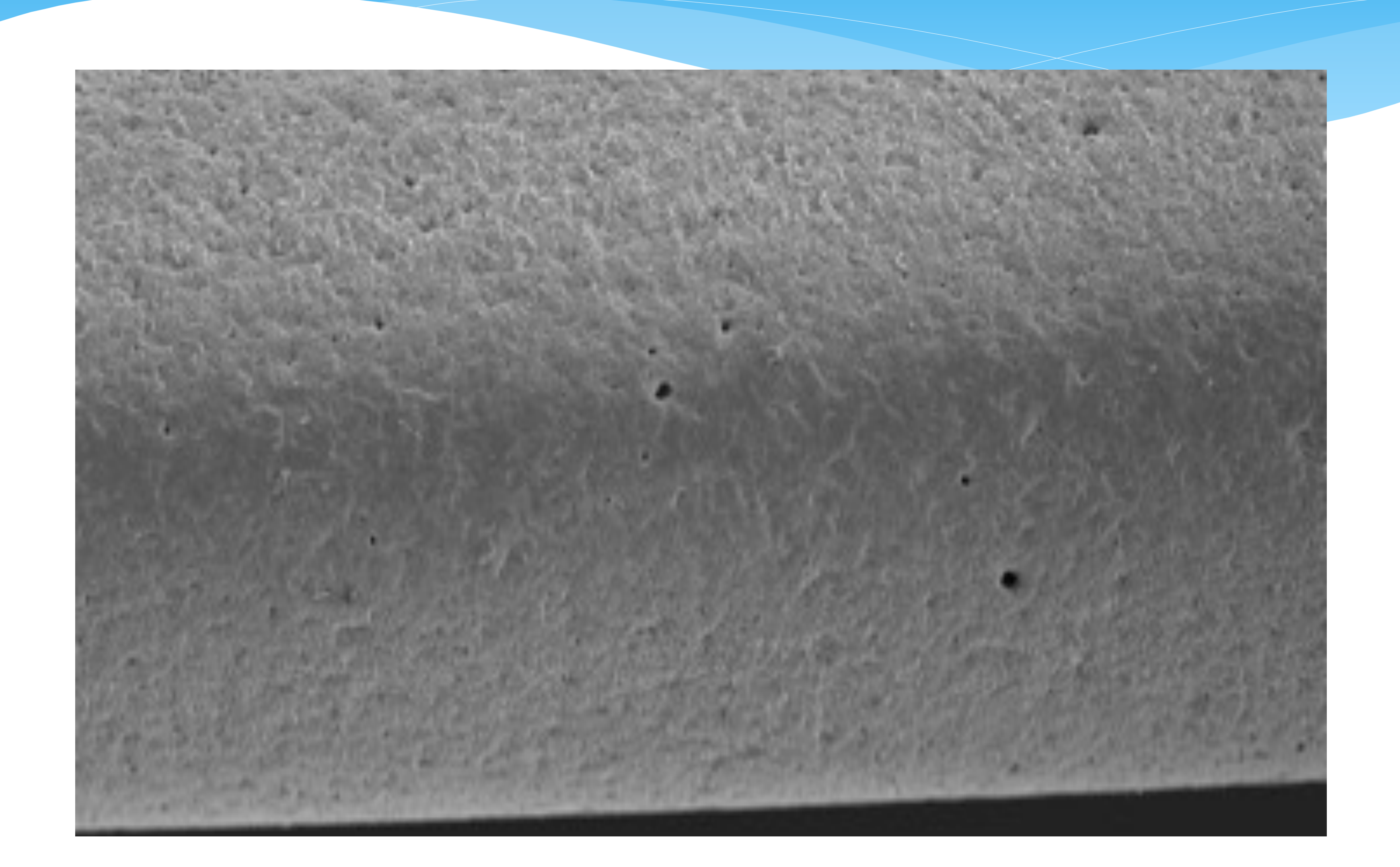
Efecto de espículas en las fibras (3 a 10μ)



Efecto de espículas en las fibras (3 a 10μ)



Efectos de las espiculas en UF (5 to 50 µ)



“Potting” en membranas de UF





“Potting” en membranas de UF





PET

* A pesar que los poros de las membranas de MF/UF poseen unos poros mucho mas grandes que los de las membranas de OI, el PET les afecta de la misma forma.

* La mayoría de las veces parte de ese ensuciamiento es irreversible.

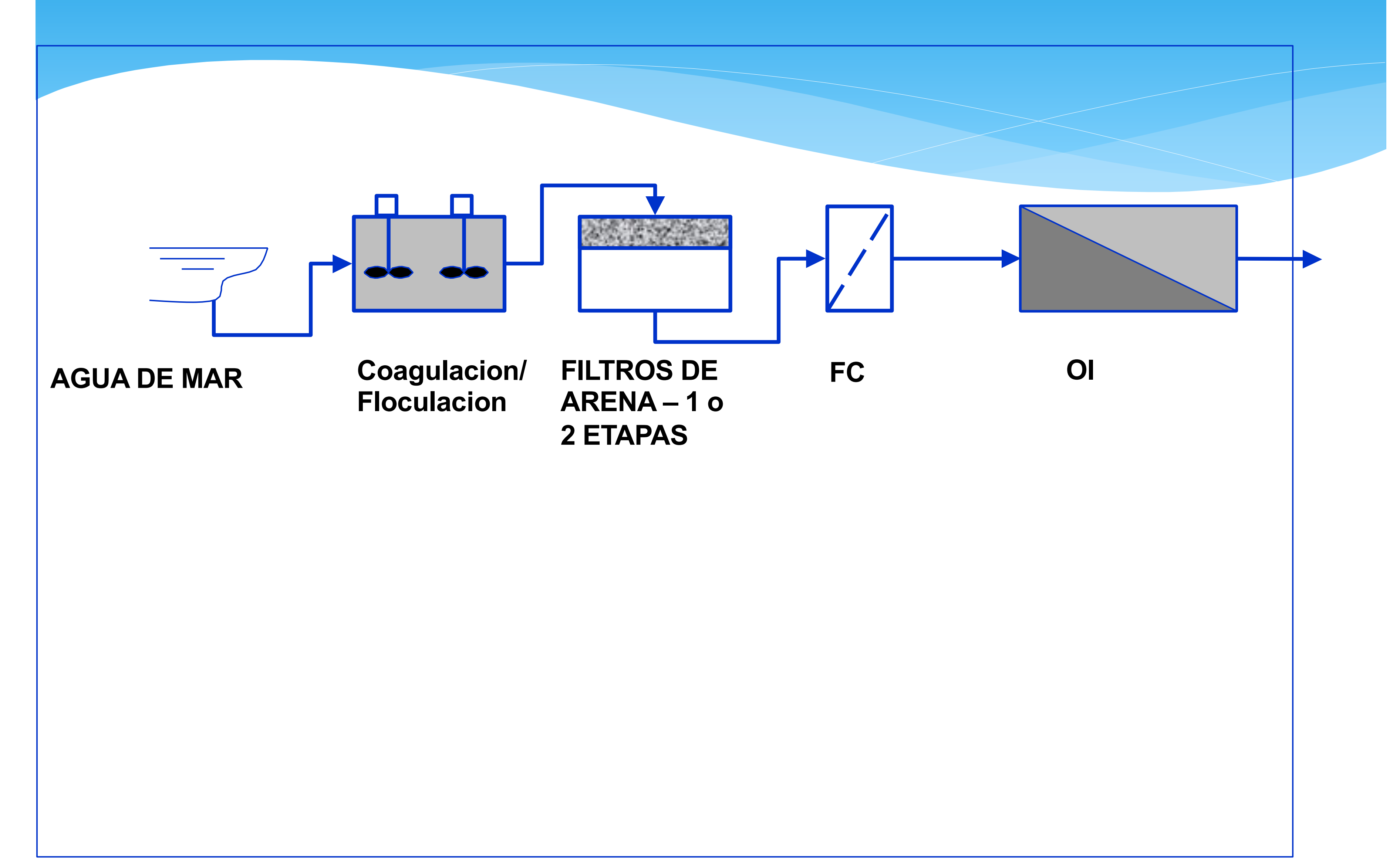
* “Solo se deben usar en aguas muy frías, donde este fenómeno no ocurre”

Esterilización por membranas

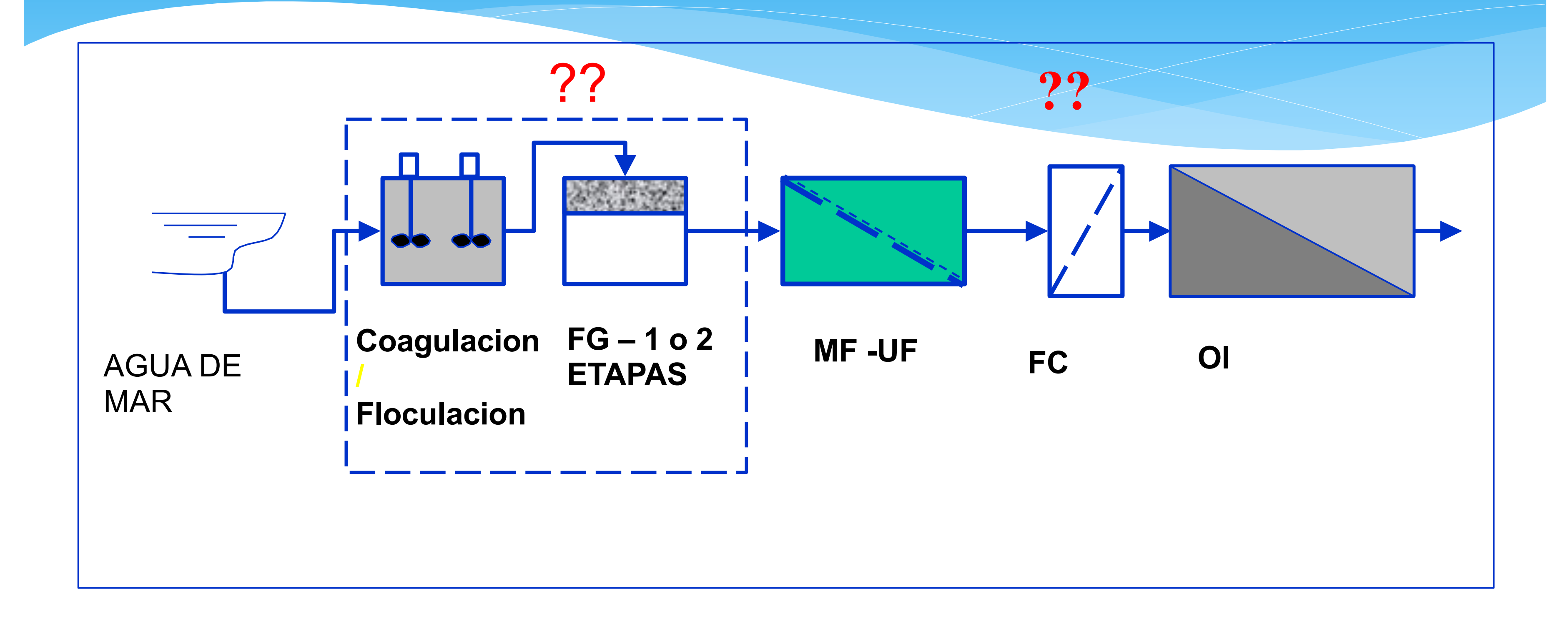
* El concepto clásico de esterilizar matando, por medio de calor, oxidación, etc. Ha dado paso a la nueva técnica de remoción por filtración.

* La filtración por membranas se utiliza cada vez mas, para remover bacterias y virus de las aguas de abasto publico y riego.

PRE TRATAMIENTO CLÁSICO



MF / UF PRE TRATAMIENTO



FG versus UF

Llegado a este punto, hay que tomar una decisión importante.

Uso de filtros de arena (FG) o de membranas de Ultra Filtración (UF)

En los últimos años, debido posiblemente a la gran presión de los fabricantes de membranas de UF y tal vez por un falso sentido de modernidad, se ha ido eliminando la filtración granular en beneficio de la filtración por membranas.

FG versus UF

Aunque sobre el papel podría parecer que la filtración por membranas es mas efectiva que la granular, sin embargo la practica no ha corroborado esa idea.

Mi experiencia particular después de haber usado ambos sistemas, es que ocurre lo contrario, las Plantas con sistemas de UF sufren de graves problemas de ensuciamiento, tanto en los filtros de cartucho como en las membranas de OI, a las cuales se supone que deberían proteger.

FG versus UF

* Un indicador de la efectividad de un sistema de filtración es la vida de los filtros de cartucho, situados aguas abajo.
* Con filtros granulares la vida de los cartuchos es alrededor de 6 meses en una Planta bien diseñada.
* Con UF oscila entre 3 semanas y 2 meses solamente.
* Está el añadido del costo extra debido a la frecuente reposición de cartuchos de filtro.

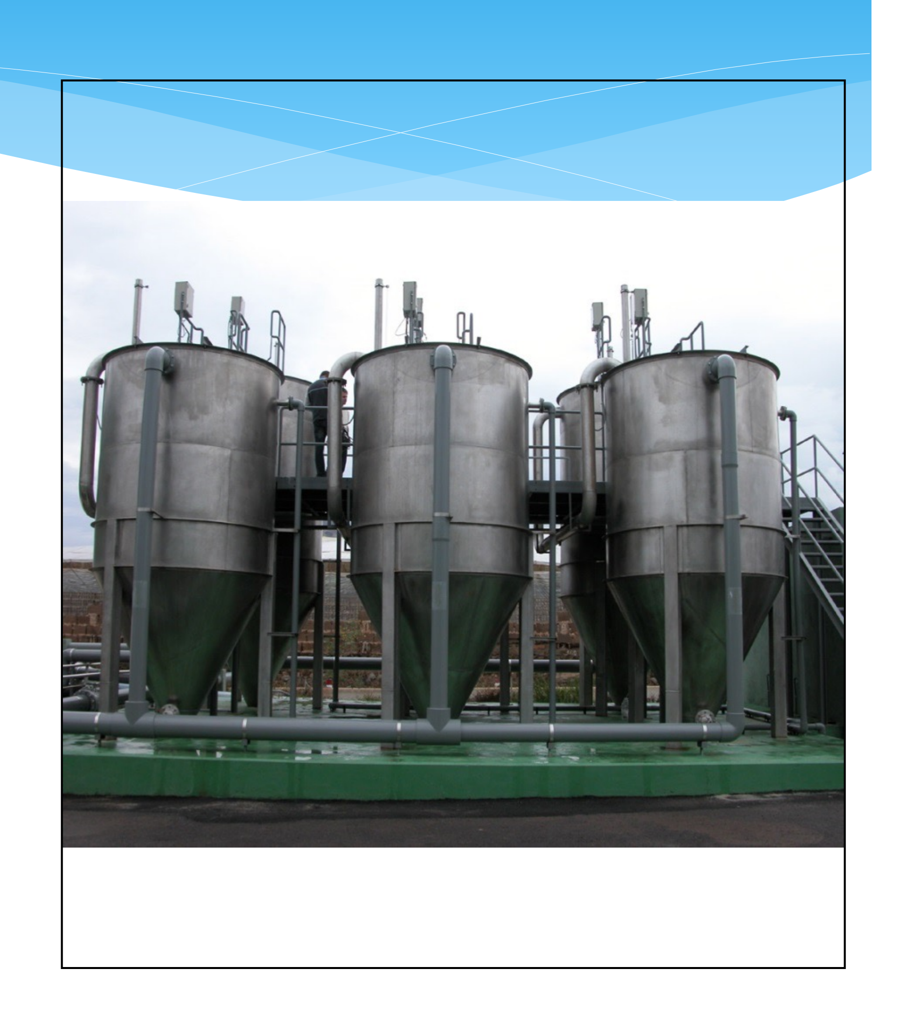
FG versus UF

* Un segundo indicador es el SDI_{15} del agua filtrada, donde los fabricantes de UF solo garantizan valores de 2,5 – 3.
* Filtros granulares bien diseñados en doble etapa producen agua con SDI_{15} menor de 2.



FG versus UF

* Un tercer indicador y el mas importante es el del ensuciamiento de las membranas de OI.
* En Plantas con FG las membranas se lavan normalmente una vez al año.
* Hay Plantas con UF que es necesario lavarlas cada mes y cada dos meses, debido al alto ensuciamiento biológico que sufren.



FG versus UF

* Otros aspectos a considerar
* La UF necesita un filtro previo de 100-300µ, los FG no.
* La UF necesita varios productos químicos diariamente para los contra lavados, los FG no.
* La reposición de membranas es cara, la arena es barata.



Inconvenientes

* Las membranas de ultrafiltración actuales no son intercambiables, ya que cada fabricante las instala en módulos de diferente configuración y trabajan en condiciones distintas (de presión, caudal, etc.).

* - Muchos fabricantes no venden la membrana aislada, sino que suministran el sistema completo y en algunos casos, la ingeniería completa y todos los sistemas auxiliares

Inconvenientes

- El coste de las mismas es muy elevado y llega a superar incluso al de los sistemas de ósmosis inversa.
- - Se incrementa la complejidad de la operación, incluyendo nuevos sistemas de dosificación química, reposición de membranas, etc.
- - En muchas ocasiones se traslada el problema de ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa a las membranas de MF/UF